

Aus dem Institut für Chirurgische Forschung
der Universität München
Prof. Dr. Dr. h. c. W. Brendel

DER MENSCH UNTER EXPEDITIONSBEDINGUNGEN IN DER HÖHE:
MEDIZINISCHE ASPEKTE DER
DEUTSCH — ÖSTERREICHISCHEN HIMALAYA — EXPEDITION ZUM
8438 m HOHEN KANGCHENDZÖNGA (1975)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Christoph R u p p
aus Schrobenhausen

München 1981

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. W. Brendel

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 17.12.1981



1. Nichtallerg.

2. Allerg.

2.1. Nahrungsmittel

2.1.1. Getreide

2.1.2. Fleisch

2.1.3. Fisch und Meeresfrüchte

2.1.4. Milch und Milchprodukte

2.1.5. Gemüse

2.1.6. Obst und Beeren

2.1.7. Süßwaren

Meinen Eltern gewidmet

2.2. Arzneimittel

2.2.1. Schmerzmittel

2.2.2. Antibiotika

2.2.3. Beruhigungsmittel

2.2.4. Hormone

2.2.5. Vitamine

2.2.6. Herz-Kreislaufigewässer

2.2.7. Blutzucker

2.2.8. Bluthochdruck

2.2.9. Allergien

2.2.10. Infektionen

2.2.11. Fieber

2.2.12. Nerven

2.2.13. Magen-Darmtrakt

2.2.14. Hormone

2.2.15. Blut

Gliederung

1. Einleitung
2. Methodik
 - 2.1. Beschreibung
 - 2.1.1. Zeitplan
 - 2.1.2. Teilnehmer
 - 2.1.3. Marsch- und Gipfelrouten
 - 2.1.4. Materialtransport
 - 2.1.5. Geräte
 - 2.1.6. wissenschaftliches Programm
 - 2.1.7. Literatur
 - 2.2. Beschreibung der Meßgeräte, der Untersuchungen, der Behandlungs- und Berechnungsmethoden
 - 2.2.1. Höhenprofile
 - 2.2.2. Meteorologische Messungen
 - 2.2.3. Ekg-Kreislauf
 - 2.2.4. Wasserhaushalt
 - 2.2.4.1. Gesamtkörperwasser (GKW)
 - 2.2.4.2. Plasmavolumen (PV)
 - 2.2.4.3. 24-Stunden-Urin (24-h-Urin)
 - 2.2.4.4. Kolloidosmotischer Druck (Osmol)
 - 2.2.4.5. Urinosmolalität (Osmol)
 - 2.2.5. Elektrolythaushalt
 - 2.2.6. Sauerstofftransport
 - 2.2.6.1. Sauerstoffaffinität des Blutes:
2,3 - Diphosphoglycerat (2,3 - DPG)
 - 2.2.6.2. Hämatokrit

- 2.2.7. Säure - Basen - Haushalt
- 2.2.8. Körpergewicht, Körperoberfläche
- 2.2.9. Hämodilution
- 2.3. Beschreibung der rechnerischen Auswertung
 - 2.3.1. Rechner und Datenaufbereitung
 - 2.3.2. Statistikprozeduren
- 3. Ergebnisse
 - 3.1. Höhenprofile
 - 3.2. Meteorologische Messungen
 - 3.3. Ekg-Kreislauf
 - 3.4. Wasserhaushalt
 - 3.4.1. Gesamtkörperwasser (GKW)
 - 3.4.2. Plasmavolumen (PV)
 - 3.4.3. 24-Stunden-Urin (24-h-Urin)
 - 3.4.4. Kolloidosmotischer Druck (KOD)
 - 3.4.5. Urinosmolalität (Osmol)
 - 3.5. Elektrolythaushalt
 - 3.5.1. Natrium
 - 3.5.2. Kalium
 - 3.5.3. Chlorid
 - 3.5.4. Zusammenfassung von Natrium, Kalium und Chlorid
 - 3.5.5. Zink
 - 3.5.6. Calcium
 - 3.5.7. Magnesium
 - 3.6. Sauerstofftransport
 - 3.6.1. Sauerstoffaffinität des Blutes:
 - 2,3 - Diphosphoglycerat (2,3 - DPG)
 - 3.6.2. Hämatokrit

- 3.7. Säure - Basen - Haushalt
- 3.8. Körpergewicht, Körperoberfläche
- 4. Diskussion
 - 4.1. Allgemeines
 - 4.2. Diskussion der Methodik
 - 4.3. Diskussion der Ergebnisse
 - 4.3.1. Höhenprofile
 - 4.3.2. Meteorologische Messungen
 - 4.3.3. Ekg-Kreislauf
 - 4.3.4. Wasserhaushalt
 - 4.3.5. Elektrolythaushalt
 - 4.3.6. Sauerstofftransport
 - 4.3.6.1. Sauerstoffaffinität des Blutes:
2,3 - Diphosphoglycerat (2,3 - DPG)
 - 4.3.6.2. Hämatokrit
 - 4.3.7. Säure - Basen - Haushalt
 - 4.3.8. Körpergewicht
 - 4.3.9. Hämodilution
- 5. Zusammenfassung
- 6. Literaturverzeichnis

1. Einleitung

Durch den immer mehr zu den Grenzen des menschlichen Lebens-
raumes strebenden Ferntourismus und die, diese Grenzen erfor-
schenden Expeditionen, rücken bisher weniger bekannte und
beachtete körperliche Veränderungen und Erkrankungen mehr in
den Blickwinkel medizinischen Interesses. Ein solches Phäno-
men ist die Höhenkrankheit in all ihren verschiedenen Er-
scheinungsformen bis hin zum - nicht selten tödlich endenden -
Höhenlungen- oder Höhenhirnödem (10). Am Ende des 19. und zum
Beginn des 20. Jahrhunderts erschienen die ersten Veröffent-
lichungen zu diesem Thema (34, 36, 70). Trotz einer nun fast
hundertjährigen Forschungsarbeit liegen immer noch viele phy-
siologische und pathophysiologische Zusammenhänge im Dunkeln.
Um jedoch Ratschläge zur Prophylaxe und Behandlung der Höhen-
krankheit geben zu können, ist eine genaue Kenntnis dieser
Abläufe notwendig.

Im Rahmen der deutsch - österreichischen Himalaya - Expedition
zum 8438 m hohen Kangchendzönga 1975 wurde daher ein medizi-
nisch-wissenschaftliches Programm durchgeführt, bei dem

- klimatische Einflüsse auf die Höhenadaptation,
- kardiale Antworten auf die Höhenexposition,
- Änderungen im Wasser- und Elektrolythaushalt bei Höhen-
exposition,
- Änderungen im Säure - Basen - Haushalt bei Höhenexposition
und

- die Beeinflußbarkeit rheologischer Veränderungen durch Hämodilution

untersucht werden sollten. Von der Auswertung dieser Studien erwartete man sich Aufschluß über die Frage, inwieweit bisher nicht bekannte Einflüsse auf die Homöostase einiger Blutparameter bestehen und ob durch gezielte Prophylaxe mittels Hämodilution das Risiko einer Höhenkrankheit vermindert werden kann. Wichtigste Grundlage für die Diskussion der Ergebnisse waren Beiträge der Symposien in Banff 1979 und in Murnau 1979.

2. Methodik

2.1. Beschreibung der Unternehmung

2.1.1. Zeitplan der deutsch - österreichischen Himalaya - Expedition zum 8438 m hohen Kangchendzönga

Die gesamte Unternehmung dauerte vom 6.3.1975 bis zum 7.6.1975, also genau 94 Tage. Die einzelnen Aufenthaltsorte an bestimmten Tagen, die zugehörigen Höhendsummen (SH) (Vgl. 3.1.), die Summenintegralwerte (SI) (Vgl. 3.1.) und die Relativtage sind der Tabelle (1) zu entnehmen. Relativtage sind die Tage gezählt vom Bezugstag des Basislagers (RTG = 0); die Tage des Anmarsches haben negative Vorzeichen und werden vom Tag des Bezugs des Basislagers zurückgezählt.

Hämodilutionstage waren die Tage (RTG):

25 (zwei Bergsteiger)

26 (zwei Bergsteiger)

28 (drei Bergsteiger)

29 (drei Bergsteiger)

Tabelle (1):

Datum	Aufenthaltort	RTG	SH	SI
06.03.1975	Abflug aus München	-35	000000	000000
08.03.1975	Ankunft in Kathmandu	-33	001000	000000
14.03.1975	Fahrt Kathmandu - Dharan Bazar	-27	008000	000200
16.03.1975	Abmarsch aus Dharan Bazar 500m	-25	010000	000300
31.03.1975	Ankunft in Ramser (4800 m)	-10	047700	006400
06.04.1975	Ankunft im Basislager (5500 m)	- 4	076800	023220
10.04.1975	Basislager wird bezogen	0	097000	035530
13.04.1975	Lager I (6200 m) wird bezogen	3	114200	046280
17.04.1975	Lager II (6650 m) wird bezogen	7	137500	061600
02.05.1975	Lager III (7200 m) wird bezogen	22	226600	120760
03.05.1975	Lager IV (7800 m) wird erreicht	23	232400	124520
09.05.1975	Erste Begehung (DM, LE, WR,)	29	269400	148890
12.05.1975	Zweite Begehung (BG, VP, WH,)	32	289400	163060
13.05.1975	Dritte Begehung (MS, SG, ZF,)	33	295500	167470
20.05.1975	Rückmarsch ab Basislager	40	333800	192360

RTG = Relativtage (Anmarschtage zum Basislager haben negatives Vorzeichen, Einzug ins Basislager = RTG 0)

SH = kumulative Höhenkorrelationszahl der gesamten Expedition, gemittelt aus den kumulierten Höhenkorrelationszahlen aller Teilnehmer (Siehe Abschnitt 3.1.)

SI = Tagesintegralsumme der gesamten Expedition, gemittelt aus der Tagesintegralsumme aller Teilnehmer (Siehe Abschnitt 3.1.)

2.1.2. Teilnehmer

Die Expeditionsmannschaft setzte sich zusammen aus:

- 10 Bergsteigern
- 6 Wissenschaftlern
- 13 Sherpas

Die wissenschaftliche Projektleitung lag bei Dr. R.A. Zink.

2.1.3. Marsch- und Gipfelrouten

a) Der Anmarsch

Wie aus der Tabelle 1 ersichtlich ist, verließ die Expeditionsmannschaft am 6.3.1975 München mit dem Flugzeug und erreichte zwei Tage später Kathmandu. Von dort fuhr man in einem Bus in 16 Stunden Fahrzeit auf der "Tribhuvan Rajpath" über die Mahabharat - Lekh - Gebirgskette (Paßhöhe 2490 m) nach Dharan Bazar. Ab hier begann der eigentliche Anmarsch, der sich in 17 Etappen gliederte (Tabelle (2)/Abbildung (1)).

Tabelle (2): Anmarschetappen

Etappe	Ausgangsort (Höhe)	Zielort (Höhe)	Marschzeit (Stunden)	Höhendifferenz (Meter)
1.	Dharan Bazar (500 m)	Leati Khola (410 m)	ca. 4	90
2.	Leati Khola (410 m)	Dhankuta (1270 m)	ca. 4 1/2	860
3.	Dhankuta (1270 m)	Bunrase (2150 m)	ca. 4	880
4.	Bunrase (2150 m)	Chitre (2410 m)	ca. 3 1/2	260

Etappe	Ausgangsort (Höhe)	Zielort (Höhe)	Marschzeit (Stunden)	Höhendifferenz (Meter)
5.	Chitre (2410 m)	Chaukie (2680 m)	ca. 4 1/2	270
6.	Chaukie (2680 m)	Nub Dangya (2850 m)	ca. 5	170
7.	Nub Dangya (2850 m)	Doban am Tamur (730 m)	ca. 4	2060
8.	Doban am Tamur (730 m)	Taplejung (2300 m)	ca. 4	1570
9.	Taplejung (2300 m)	Lali Karka (2220 m)	ca. 2	80
10.	Lali Karka (2220 m)	Khesewa (1960 m)	ca. 5	260
11.	Khesewa (1960 m)	Khasuwa Khola (1620 m)	ca. 3	340
12.	Khasuwa Khola (1620 m)	Yamphodin (1710 m)	ca. 3	90
13.	Yamphodin (1710 m)	Domje Khola (2350 m)	ca. 3	640
14.	Domje Khola (2350 m)	Yalung Chu (2950 m)	ca. 5	600
15.	Yalung Chu (2950 m)	Tseram (3760 m)	ca. 3 1/2	810
16.	Tseram (3760 m)	Up Ramser (4800 m)	ca. 4 1/2	1040
17.	Up Ramser (4800 m)	Tso - Camp (4700 m)	ca. 4 1/2	100
18.	Tso - Camp (4700 m)	Hauptlager (5500 m)	ca. 6	800

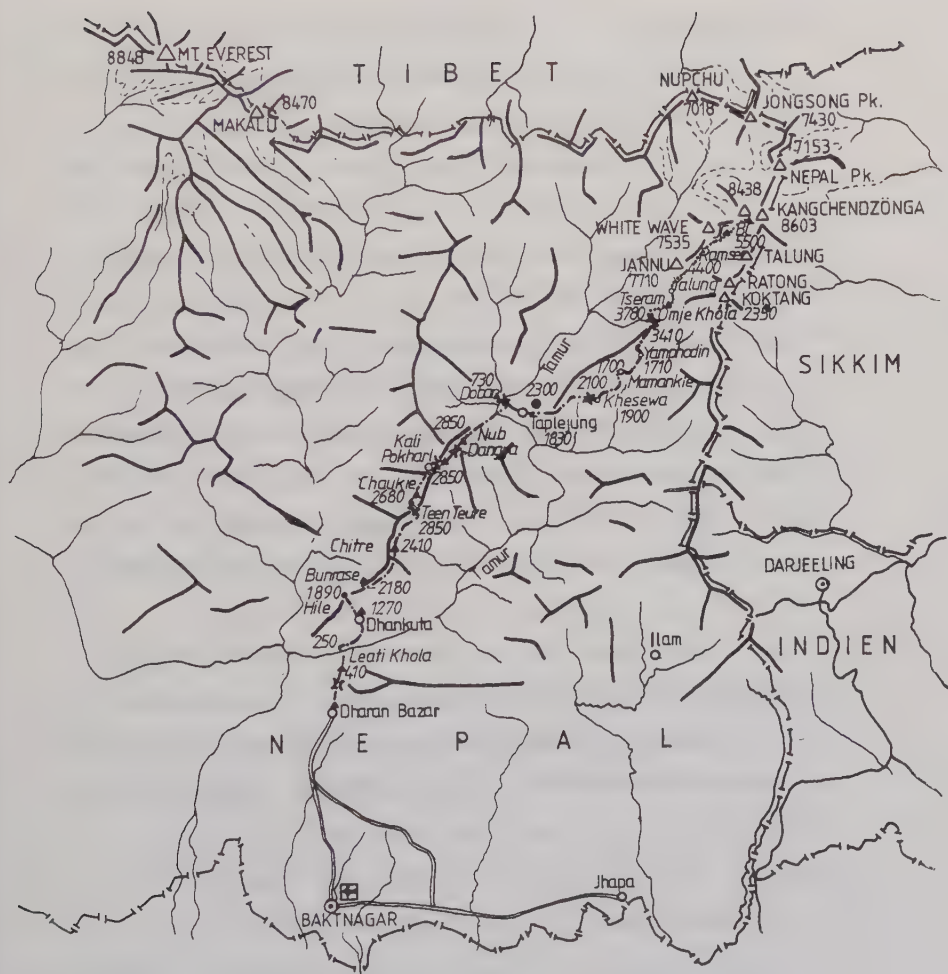


Abbildung (1): Übersichtskarte von Ost-Nepal mit Eintragung
der Anmarschroute von Dharan Bazar zum
Kangchendzönga

b) Der Anstieg

Der Anstieg zum Gipfel wurde von Südwesten aus vorgenommen und in fünf Abschnitte unterteilt:

Vom Hauptlager, das bei Pache's Grab in 5500 m Höhe lag, erreichte man das Lager I unter nördlicher Umgehung des "Westbollwerkes" auf dessen Gipfelfirst in 6200 m Höhe (Höhendifferenz 700 m). Der Aufstieg zu Lager II, das in 6650 m Höhe (Höhendifferenz 450 m) lag, führte durch den unteren Teil des "Oberen Eisfalles". Nach Durchsteigung des oberen Teiles des "Oberen Eisfalles" und Überwindung des "Großen Bandes" wurde Lager III in 7200 m Höhe (Höhendifferenz 550 m) auf der "Großen Terrasse" errichtet. Von hier aus führte der Aufstieg dann an der Nordseite der "Sichel" entlang zum Fuß des Gipfelaufbaues, wo in 7800 m Höhe Lager IV entstand (Höhendifferenz 600 m). Ausgehend von diesem Stützpunkt erfolgte der Gipfelsturm direkt durch die darüber liegende Rinne und die anschließende steile Flanke zum Gipfel (8438 m) (Höhendifferenz 640 m).

2.1.4. Materialtransport

Die Geräte wurden - soweit nötig und möglich - zerlegt und in stoßsichere, ausgeschäumte Aluminiumkisten verpackt. Besonders zerbrechliche und kälteempfindliche Teile (Glühbirnen, flüssigkeitsgefüllte Messkammern etc.) wurden ausgebaut und in einer kälteisolierten Sonderlast transportiert. Labormaterial wurde, soweit möglich, in doppelter Menge mitgenommen und getrennt verpackt.

2.1.5. Verwendete Geräte und Präparate

Stromversorgung

Ein 300 W Generator (Honda) diente der Stromversorgung der Laborkleingeräte bis zum Basislager.

Geräte zur Meteorologischen Beobachtung

Zur Messung der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit und des Luftdruckes wurde eine Wetterstation der Fa. Thies & Co benutzt. Zusätzliche Höhen- bzw. Luftdruckmessungen erfolgten mittels Anaeroidbarometern (Fa. Lufft, Fa. Thommen). Weitere Temperatur- bzw. Feuchtigkeitsmessungen wurden mit Minimum - Maximum Thermometern und Hygrometern der Fa. Brandt durchgeführt.

Ekg - Geräte

Im Basislager konnten Ekg - Aufzeichnungen mit Hilfe eines Einkanalschreibers (Cardiostat, Fa. Siemens) durchgeführt werden. Unterwegs erfolgte die Registrierung mit drei Minibandspeichergeräten, die über Kleelektroden angeschlossen waren und eine 24 - Stunden - Laufzeit erlaubten (Fa. Ricard).

Zentrifugen

Zur Plasmagewinnung standen Labor- bzw. Handzentrifugen (Fa. Hettich) zur Verfügung. Die Hämatokritwerte wurden mit Hilfe einer Mikrohämatokritzentrifuge (Fa. Hettich) bestimmt.

Bestimmung der Elektrolytkonzentration

Die Elektrolytkonzentrationen wurden atomabsorptions-spektrometisch (Perkin Elmer 300) untersucht.

Geräte zur Gesamtkörperwasserbestimmung

Die Aufbereitung der tritiummarkiertes Wasser enthaltenden Plasmaproben erfolgte mittels eines "Sample - Oxydizer" (Fa. Intertechnique). Die eigentliche Bestimmung wurde mit dem "Beta - Szintillationszähler Isocap 300" (Fa. Nuclear Chicago) durchgeführt.

Geräte zur Plasmavolumenbestimmung

Für diese Bestimmung wurde der "Gamma-Zähler" (Fa. Nuclear Chicago) benutzt.

Urinmengenbestimmung

Hierfür stand jedem Teilnehmer eine Plastikflasche mit Millilitereinteilung zur Verfügung.

Gerät zur Bestimmung des Kolloidosmotischen Druckes des Plasmas

Der kolloidosmotische Druck wurde mit einem Membranosmo-meter (Fa. Knauer, Berlin) bestimmt.

Gewichtskontrollen

Zur Gewichtsüberwachung der Teilnehmer stand eine Perso-nenwaage zur Verfügung (vgl. 2.2.8.).

Präparat zur Blockierung der Schilddrüse vor Applikation radioaktiven Materials

Hierfür wurden ca. 0,24 g Jod (Endojodin^R, Fa. Bayer) benutzt.

Dilutionspräparat

Zur Durchführung der Hämodilution wurde das Humanserumpräparat Biseko^R (Fa. BIOTEST - Serum - Institut) verwendet. Es handelt sich hierbei um eine Infusionslösung, die 12,5 g Serumproteine pro 250 ml isotoner und annähernd isoioner Elektrolytlösung enthält. Mit Ausnahme der Lipoproteine ist das volle Spektrum der Serumproteine in stabiler und biologisch aktiver Form enthalten.

2.1.6. Medizinisch - wissenschaftliches Programm

Das Untersuchungsprogramm umfaßte die Arbeitsgebiete

- Meteorologische Messungen zur Abschätzung des Einflusses der klimatischen Bedingungen auf den Flüssigkeitshaushalt des Menschen
- Erfassung eventueller kardialer Abweichungen vom Ausgangszustand mittels Ekg
- Beobachtung des Wasserhaushaltes durch Bestimmung des Gesamtkörperwassers (GKW), des Plasmavolumens (PV), der täglichen Urinausscheidung (24 - Stunden - Urin), des kolloidosmotischen Druckes im Plasma (KOD) und der Osmolalität des 24 - Stunden - Urins (Osm).

- Untersuchung der Sauerstoffaffinität des Blutes durch Messung von 2,3 - Diphosphoglyzerat in den Erythrozyten
- Abschätzung der Beeinflußbarkeit rheologischer Veränderungen in der Höhe durch Infusion eines stabilisierten Humanserumpräparates und Beobachtung der daraus resultierenden Hämatokritänderungen
- Aufzeichnung des Körpergewichtes zum Vergleich mit den Änderungen im Wasserhaushalt
- Bestimmung des Verlaufes der Plasmakonzentration und der Ausscheidung folgender Elektrolyte im Urin: Kalzium, Kalium, Natrium, Magnesium, Zink und Chlorid.

2.1.7. Literatur zur Beschreibung der Unternehmung

Über den Kangchendzönga und die Besteigungsversuche an diesem Berg liegen umfangreiche Literaturquellen vor (6, 7, 25, 26, 27, 30, 33, 49, 59). Eine genaue Beschreibung der Unternehmung, bei der das in der vorliegenden Arbeit beschriebene Programm durchgeführt wurde, gab Günter Sturm in seinem Buch "Erfolg am Kantsch" (92).

2.2. Beschreibung der Meßgeräte, Untersuchungen, Behandlungs- und Berechnungsmethoden

2.2.1. Höhenprofile

Es wurden die jeweiligen Höhen bestimmt, in denen der Proband die Nacht verbrachte. Nach den Tagebuchaufzeichnungen wurde für jeden Teilnehmer ein Höhenprofil (aus den mittleren Tageshöhen $\bar{H}_n$), die kumulative Höhenkorrelationszahl (= Höhensumme) (SH), das Tagesintegral (TI), sowie die Tagesintegralsumme (SI) wie folgt nach Zink (97) berechnet:

a) Das Höhen - Zeit - Profil (aus $\bar{H}_n$)

Grundlage zur Berechnung der hierfür notwendigen mittleren Tageshöhe $\bar{H}_n$ des Tages n ist die Schlafhöhe, in der der Proband die Nacht vom Tag (n-1) auf den Tag n verbrachte (H_{n-1}) und die Schlafhöhe der folgenden Nacht vom Tag n auf den Tag (n+1) (H_n). Unter den gegebenen Bedingungen verbringt der Proband etwa 2/3 der Beobachtungszeit in der Höhe (H_n). Die restliche Zeit wird für Auf- und Abstiege von der Vortagesschlafhöhe (H_{n-1}) verwendet. Als Korrekturfaktor kann also mit guter Näherung der Wert $(H_n - H_{n-1}) \times 0,25$ gewählt werden, so daß die endgültige Berechnungsformel für die mittlere Tageshöhe mit befriedigender Genauigkeit lautet:

$$\bar{H}_n = H_n - (H_n - H_{n-1}) \times 0,25$$

Nur in einigen Spezialfällen, wenn die Differenz zwischen der Schlafhöhe H_n und der maximalen ($H_{\max}$) oder minimalen ($H_{\min}$) Tageshöhe > 300 m ist, wird dieser Wert statt der Vortags-schlafhöhe (H_{n-1}) in die Gleichung mit aufgenommen. Also gilt:

$$\bar{H}_n = H_n - (H_n - H_{\max}) \times 0,25$$

$$\text{bzw.: } \bar{H}_n = H_n - (H_n - H_{\min}) \times 0,25$$

b) Die kumulative Höhenkorrelationszahl (= Höhengsumme) (SH)

Für einen Tag t errechnet sich die individuelle kumulative Höhenkorrelationszahl (die Höhengsumme) für jeden Teilnehmer durch reine Addition der mittleren Tageshöhen ($\bar{H}_n$) bis zum Tage t:

$$SH = \sum_{n=1}^t \bar{H}_n$$

c) Das Tagesintegral (TI)

Die Fläche unter dem Höhen - Zeit - Profil ergibt für jeden vorgegebenen Tag n ein Maß für die individuelle Höhenexposition. Exakt würde sie durch die Formel

$$TI_n = \int_{n-1/2}^{n+1/2} f(n) dn$$

beschrieben, aber mit genügender Genauigkeit kann eine geometrische Näherung gefunden werden, welche die Berechnung stark vereinfacht.

Die Schmalseiten der TI - Rechtecke sind immer "1" und die beiden langen Seiten können als die Hälfte der Vortagesschlafhöhe plus die Hälfte der Schlafhöhe des folgenden Tages angenähert werden, also $1/2 \bar{H}_{n-1} + 1/2 H_{n+1}$. Da Höhen unter 2000 m für den Höhenadaptationsprozess nicht relevant sind, bleiben sie zur Berechnung des Tagesintegrals unbeachtet. Es ergibt sich also zur näherungsweisen Berechnung der täglichen Höhenexposition folgende Formel:

$$TI_n = \frac{(\bar{H}_{n-1} - 2000) + (H_{n+1} - 2000)}{2} \times 1$$

Die Dimension wird in Flächeneinheiten (FE) angegeben.

d) Die Tagesintegralsumme (= Summenintegral) (SI)

Die Tagesintegralsumme als Ausdruck der bis zum Tag t erreichten Höhenexposition errechnet sich aus der Addition der Tagesintegralwerte (TI) bis zum Tage t:

$$SI = \sum_{n=1}^t TI_n$$

Diese vier Parameter wurden auch für das arithmetische Mittel der mittleren Tageshöhen aller 11 Teilnehmer als Ausdruck für die durchschnittliche Höhenexposition der gesamten Expedition errechnet.

2.2.2. Meteorologische Messungen

Zur Messung der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit und des Luftdruckes wurde eine Wetterstation bis zum Basislager mitgeführt, womit die obengenannten Parameter kontinuierlich registriert werden konnten. Zusätzlich erfolgten im Basislager und unterwegs Höhen- bzw. Luftdruckmessungen mit Anaeroidbarometern, Temperaturmessungen mit Minimum - Maximum - Thermometern sowie Feuchtigkeitsbestimmungen mit Hygrometern.

Die Tagesmittelwerte für die Luftfeuchtigkeit und den Luftdruck errechneten sich aus den jeweiligen Meßwerten um 07.00, 12.00, 18.00 Uhr und bei der Temperatur zusätzlich aus dem Tagesminimum. Der absolute Wassergehalt der Atemluft (a) wurde aus der relativen Feuchte (F_r) und der Temperatur (T) für jeden Tag unter Verwendung folgender Formel berechnet:

$$a = \frac{F_r \times E \times 0,795}{1 + (T \times 0,366)} \quad (g_{H_2O} / m^3_{Luft})$$

wobei: E = Sättigungsdampfdruck

2.2.3. Ekg_und_Kreislauf

Vor Beginn des Unternehmens wurden im Deutschen Herzzentrum in München Belastungs - Ekg's geschrieben, um Ausgangs- und Vergleichskurven zu besitzen. Im Basislager konnten Elektrokardiogramme mit Hilfe eines Einkanalschreibers aufgezeichnet werden.

Es wurden dabei zwei Meßtage zu Beginn und am Ende des Basislageraufenthaltes gewählt (Relativtag 8 und 38). Die entsprechende Höhenexposition lag dabei durchschnittlich bei 65000 und 186000 (FE). Unterwegs erfolgte die Registrierung mit Minibandspeichergeräten. Es wurden damit in den Hochlagern einzelne Aufzeichnungen in Ruhe und nach Arbeit gemacht.

2.2.4. Wasserhaushalt

Sämtliche für die Untersuchung des Wasserhaushaltes benötigten Blutproben wurden mit Lithium - Heparinat abgenommen.

2.2.4.1. Gesamtkörperwasserbestimmung (GKW)

Tritiummarkiertes Wasser wurde nach vorhergehender Abnahme eines Nullwertes intravenös appliziert. Eine Einzeldosis betrug 1,5 mCi, die Verteilungszeit 4 Stunden. Die Plasmaproben wurden sofort enteiweißt, um den Quencheffekt zu verringern und in evakuierte, konzentrierte Perchlorsäure enthaltende Fläschchen gefüllt. In der experimentellen Abteilung des "Deutschen Herzzentrums" in München wurden diese Proben nach Aufbereitung in einem Sample - Oxydizer der Beta - Szintillationszählung zugeführt.

2.2.4.2. Plasmavolumenbestimmung (PV)

Vor der ersten Applikation radioaktiven Materials erfolgte eine Blockierung der Schilddrüse durch eine einmalige intravenöse Injektion von ca. 0,24 g Jod (Endojodin^R, Bayer). Dann wurde nach Abnahme eines Ausgangswertes eine Dosis von 6 μ Ci appliziert und etwa 15 Minuten später die eigentliche Probe entnommen. Die Szintillationszählung erfolgte in jeweils 1 ml Nativplasma unmittelbar nach dem Eintreffen in München im Institut für Chirurgische Forschung der Ludwig-Maximilian-Universität.

2.2.4.3. 24 - Stunden - Urin - Bestimmung (24 - h - Urin)

Die Probanden ermittelten ihre Urinmengen selbst und führten darüber Buch. Die täglichen Urinmengen wurden aus den einzelnen, aufgelisteten Mengen aufaddiert.

2.2.4.4. Bestimmung des kolloidosmotischen Druckes (KOD)

Der kolloidosmotische Druck wurde aus gefriergetrockneten und nach dem Transport rückverflüssigten Plasmaproben in der experimentellen Abteilung des "Deutschen Herzzentrums" in München membranometrisch gemessen.

2.2.4.5. Bestimmung der Urinosmolalität (Osm)

Die Osmolalitätsbestimmung erfolgte über die Gefrierpunktserniedrigung ebenfalls in der experimentellen Abteilung des "Deutschen Herzzentrums" in München. Die Urinproben, die aus den jeweils gesammelten 24 - h - Mengen stammten, waren in phenolisierten Plastikröhrchen a 5 ml transportiert worden.

2.2.5. Bestimmung der Elektrolytkonzentration

Die Elektrolytkonzentrationsmessungen wurden in Nativplasma - und Urinproben vorgenommen, wie sie zur Bestimmung des Plasmavolumens und der Urinosmolalität benutzt worden waren. Die Untersuchung erfolgte atomabsorptionsspektrometrisch in der experimentellen Abteilung des "Deutschen Herzzentrums" in München. Im einzelnen wurde bestimmt:

Im Plasma: Ca^{++} , Cl^- , K^+ , Na^+ , Mg^{++} , Zn^{++} ;

Im Urin: Cl^- , K^+ , Na^+ , Mg^{++} , Zn^{++} ;

2.2.6. Sauerstofftransport

2.2.6.1. Blutaufbereitung zur 2,3 - Diphosphatglyceratbestimmung

Sämtliche Blutproben wurden mit Lithium - Heparinat abgenommen. Zur 2,3 - DPG-Bestimmung wurden ca. 2 ml frisches Vollblut in 15 ml fassende, auf 200 mmHG evakuierte und mit 4 ml 1,2 normaler Perchlorsäure gefüllte Glasflaschen gegeben.

Das genaue Blutvolumen wurde durch Wägung nach dem Rücktransport nach München bestimmt. In diesem Transportmedium war im Temperaturbereich von -20°C bis $+28^{\circ}\text{C}$ bei wochenlangen Überprüfungen kein nennenswerter Zerfall von 2,3 - DPG festgestellt worden. Die papierchromatographische Trennung und die Phosphatanalyse erfolgte im Physiologischen Institut der LMU München.

2.2.6.2. Hämatokritbestimmung

Für die Ermittlung der Hämatokritwerte standen Mikro - Kapillar - Zentrifugen zur Verfügung.

Die einzelnen Bestimmungen erfolgten insbesondere vor der Hämodilution, nach der Hämodilution und nach der Rückkehr vom Gipfel.

2.2.7. Säuren - Basen - Haushalt

Ebenso wie die Blutproben zur 2,3 - DPG - Bestimmung und zur Bestimmung der Wasserräume wurden die Proben zur Bestimmung des Laktatgehaltes des Plasmas mit Lithium - Heparinat abgenommen. Bei den Messungen handelte es sich um die Untersuchung der Nüchtern- Ruhe - Werte. Sie wurden in der experimentellen Abteilung des "Deutschen Herzzentrums" in München durchgeführt.

2.2.8. Körpergewicht, Körperoberfläche:

Körpergewicht: Zur Bestimmung des Körpergewichtes stand eine handelsübliche Personenwaage zur Verfügung, die mit genügender Genauigkeit Gewichtsänderungen der interessierenden Größenordnung (kg-Bereich) anzeigte.

Körperoberfläche: Die Körperoberfläche der einzelnen Personen errechnete sich aus der Formel nach Du Bois¹:

$$O = \sqrt{\text{Körpergewicht} \times \text{Körpergröße}} \times 167,2$$

Dafür wurde die Körpergröße der Personen vor dem Abflug gemessen und für die Zeit der Expedition als konstant angenommen.

2.2.9. Hämodilution

Die Hämodilution erfolgte durch Infusion eines stabilisierten Humanserumpräparates (Biseko^R, ⁺). Die Infusionsmenge war dabei 500 ml, was in etwa einer Zufuhr von 275 ml pro m² Körperoberfläche entsprach. Zehn der elf Expeditionsteilnehmer wurden infundiert. Acht der Infundierten erreichten den Gipfel. Der Infusionszeitpunkt wurde nach etwa dreißig Tagen Akklimatisationszeitraum auf den vierten Tag vor dem Gipfelsturm gelegt. Das Kriterium eines deutlich erhöhten Hämatokrits wurde dabei von allen Probanden erfüllt. Die Dilutionstage waren die Relativtage 25/26 (je 2 Pers.) und 28/29 (je 3 Pers.).

⁺) Biotest Institut, Frankfurt

2.3. Beschreibung der rechnerischen Auswertung

2.3.1. Rechner und Datenaufbereitung

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse erfolgte mit Hilfe eines Großcomputers (Cyber 175) im Leibnitz - Rechenzentrum, München.

Dazu wurden sämtliche Meßdaten blockweise auf Lochkarten übertragen. Der erste Block beinhaltete die Meßdaten, die bei allen Bergsteigern gemessen wurden. Er umfaßte für jede Person 261 Variable.

Im zweiten Block wurden die an drei freiwilligen Bergsteigern gemessenen Wasserräume aufgelistet; er bestand aus 90 Variablen.

Im dritten Block erschienen die Wetterwerte und die Höhen der Wetterstation. Er enthielt 17 Variable.

Der vierte Block führte die Tageshöhe, die kumulierte Höhenkorrelationszahl sowie die Tagesintegralsumme jedes einzelnen Teilnehmers auf (11 Variable).

Durch Anwendung eines speziellen Rechenprogrammes (58) (Statistical Package for the Social Sciences - SPSS 7) konnten alle interessierenden, descriptiven statistischen Kennwerte sowie beliebig viele Korrelationen zwischen den untersuchten Größen berechnet und geplottet werden.

2.3.2. Statistik

Aus dem Programmangebot der SPSS - 7 Version wurden folgende Statistikprozeduren benutzt:

"Condescriptive": Diese Prozedur liefert die Statistikparameter

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| - Mittelwert | - Standardfehler |
| - Standardabweichung | - Varianz |
| - Exzess | - Schiefe |
| - Spannweite | - Minimum |
| - Maximum | - Summe |
| - Variationskoeffizient | - Konfidenzintervall |
| | für den Mittelwert |

"Frequencies": Diese Prozedur liefert die Statistikparameter

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| - Mittelwert | - Standardfehler |
| - Median | - Modus |
| - Standardabweichung | - Varianz (biasfrei) |
| - Excess | - Schiefe |
| - Spannweite | - Minimum |
| - Maximum | - Summe |
| - Variationskoeffizient | - Konfidenzintervall |
| | für den Mittelwert |

"Scattergram": Diese Prozedur dient zur Veranschaulichung des Zusammenhanges zwischen zwei Variablen und ordnet die Werte der einzelnen Fälle in ein zweidimensionales Koordinatensystem ein und druckt sie als Graphik aus.

"Pearson Corr": Zur Berechnung des Pearson'schen Produkt - Moment - Korrelationskoeffizienten stand diese Statistikprozedur zur Verfügung.

3. Ergebnisse

3.1. Höhenprofile

In Abbildung (2) sind folgende Parameter für die durchschnittliche Höhenexposition der gesamten Expedition, berechnet aus dem Durchschnitt der mittleren Tageshöhen aller 11 Teilnehmer, dargestellt (siehe Seite 4):

1. Das Höhen - Zeit - Profil
2. Das Tagesintegral (TI)
3. Die Tagesintegralsumme (SI)
4. Die kumulative Höhenkorrelationszahl oder Höhengsumme (SH)

Bestimmte Absolutzahlen der Parameter "Tagesintegralsumme" und "kumulierte Höhenkorrelationszahl" sind in Verbindung zu jeweils wichtigen Daten und Ereignissen in Abschnitt 2.1.1. angegeben. Die individuellen Einzelkurven der Meßergebnisse der Abschnitte 3.2. bis 3.8. wurden zum Teil gegen den Parameter "Tagesintegralsumme" (SI) aufgetragen, was aber gegenüber der Auftragung gegen die Relativtage noch keine neuen Erkenntnisse erbrachte, da die Probanden einer nahezu gleichen Höhenexposition unterworfen waren und Werte anderer, vergleichbarer Unternehmungen nicht vorlagen. Es wurde jedoch ein Grundstock für Vergleiche mit späteren Studien gelegt. In der Abbildung (2) sind gegen die linke Ordinate das Höhen - Zeit - Profil und das Tagesintegral - Zeit - Profil aufgetragen. Beide zeigen, was sich aus dem Berechnungsmodus ergibt, gleichsinnige Verläufe, wobei das Tagesintegral, in das der Zeitfaktor der Höhenexposition eingeht, einen gedämpfteren Verlauf nimmt.

Der initiale Aufschwung entspricht dem Anmarsch zum Basislager, der folgende, langsamere Anstieg dem Vordringen zu den Hochlagern und das abschließende Maximum dem "Gipfelsturm." Gegen die rechte Ordinate sind die kumulative Höhenkorrelationszahl und die Tagesintegralsumme aufgetragen; beide sind stetig steigende Kurven, deren Steigung sich durch die relativ geringen Änderungen der absoluten Höhen- und Tagesintegralwerte nur gering ändern, woraus ersichtlich wird, daß im Vergleich zur absoluten Höhe die zeitliche Dauer die Höhenexposition stärker beeinflußt.

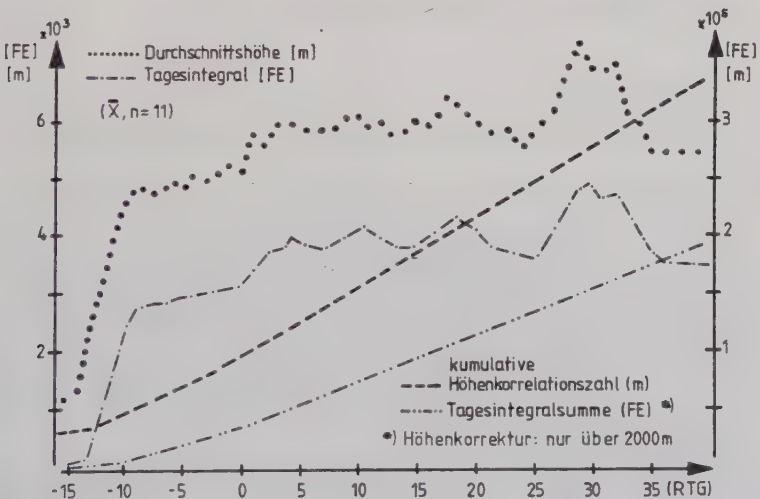


Abbildung (2):

Höhenprofil, Tagesintegral, kumulative Höhenkorrelationszahl und Tagesintegralsumme; Erläuterung siehe Text.

3.2. Meteorologische Messungen

Luftdruck, höhenkompensiert

Der Luftdruck änderte sich während des Gesamtzeitraumes nur in sehr engen Grenzen; dies ist als Ausdruck der sehr stabilen Wetterlage zu werten. Die Probanden waren also keinen starken Wetterumschwüngen ausgesetzt. Die Absolutwerte liegen im Bereich der Münchener Vergleichswerte. In der Abbildung sind an den Tagen -40 bzw. -35 das März - bzw. das Aprilmittel in München angegeben. Die Maximalschwankungen eines Vergleichspunktes entsprechen einer Höhendifferenz von nur ca. 100 Höhenmetern.

Lufttemperatur

Die Absolutwerte der Lufttemperatur während des An- und Rückmarsches lagen meist deutlich über den Münchener Vergleichswerten (um ca. 10 - 20°C). Während des Basislageraufenthaltes lagen die Temperaturen dann um ca. 5 - 17°C darunter und es errechnete sich über die gesamte Basislagerzeit ein Mittel der Durchschnittstemperaturen von -3°C. Als tiefste Außentemperatur wurden am zweiten Tag nach der Ankunft -16°C gemessen.

Die durchschnittlichen Temperatur- und Luftdruckwerte (höhenkompensiert), die mit der Wetterstation auf dem An- und Rückmarsch sowie im Basislager gewonnen wurden, sind in Abbildung (3) dargestellt.

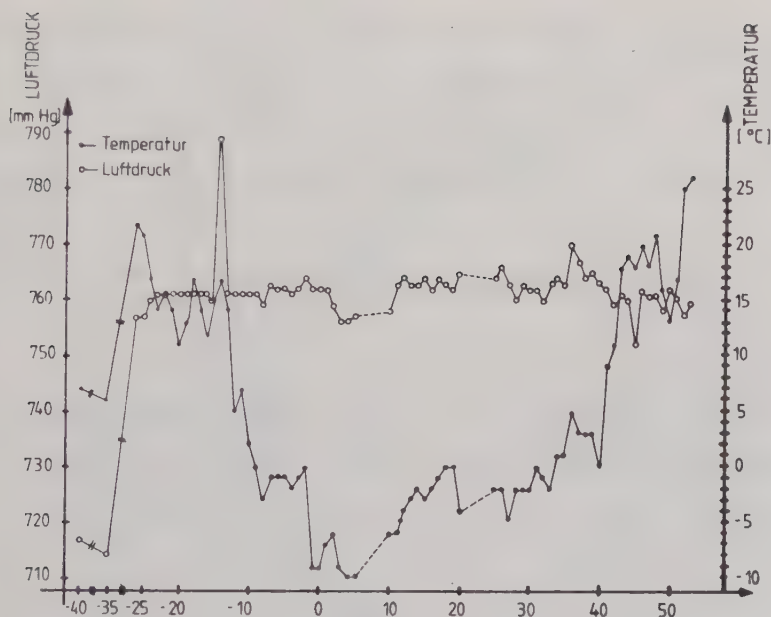


Abbildung (3):

Luftdruck und durchschnittliche Lufttemperatur:

Der Luftdruck (höhenkompensiert) ist gegen die linke Ordinate und mit o— dargestellt. Die Tagesdurchschnittstemperatur ist mit ●— gegen die rechte Ordinate aufgetragen.

In den 4 Hochlagern wurde - an verschiedenen Tagen - je ein Tagesprofil gemessen.

Die Werte sind der Tabelle (3) zu entnehmen, wobei $\bar{x}$ der Durchschnittswert der 4 Tageswerte ist.

Lager	Höhe (m)	Temperatur				
		min	7 ⁰⁰ Uhr	12 ⁰⁰ Uhr	18 ⁰⁰ Uhr	$\bar{x}$
I	6200	-19	-13	-5	-17	-14
II	6700	-14	-10	-3	-21	-12
III	7200	-22	-15	-9	-18	-16
IV	7800	-26	-16	-12	-20	-19

Tabelle (3):

Tagesprofile der Lufttemperatur:

In der Tabelle sind Meßwerte der tiefsten Tagestemperatur (min), des 7⁰⁰Uhr-, des 12⁰⁰Uhr- und des 18⁰⁰Uhr - Wertes sowie der Tagesdurchschnittswert $\bar{x}$ (errechnet aus den 4 Tageswerten) in den 4 Hochlagern aufgetragen.

Luftfeuchtigkeit

Über die gesamte Basislagerzeit errechnete sich ein Mittel der durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit von 63,8 %. Da jedoch, wie aus Abbildung (4) ersichtlich, im Temperaturbereich unter 0°C die relative Luftfeuchtigkeit (F_r) kaum noch eine Rolle bei der Berechnung des absoluten Wassergehaltes der Luft spielt, ergaben sich nach der in 2.2.2. angegebenen Formel nur mehr die aus Abbildung (4) ersichtlichen Absolutwerte für die Luftfeuchtigkeit. Diese schwankten im Bereich von 1,3 - 3,7 Gramm H_2O / m^3 Außenluft. Bei Einzelmessungen in den Hochlagern wurde kein Wert über 1,0 g/m³ gefunden. Die übrigen Werte der absoluten Luftfeuchtigkeit (F_a) sind der Abbildung (5) zu entnehmen.

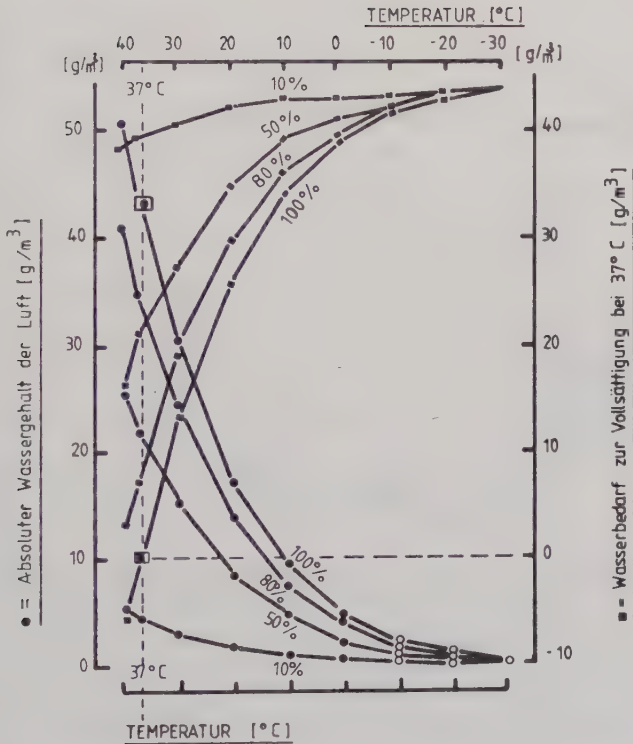


Abbildung (4):

Der absolute Wassergehalt der Luft (F_a) bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 10 %, 50 %, 80 % und 100 % ist links und mit (●—) gegen die Temperatur in °C unten aufgetragen.

Der absolute Wasserbedarf zur Vollsättigung auf 100 % bei 37°C ist rechts in Abhängigkeit von der Temperatur in °C unten für eine relative Luftfeuchtigkeit von 10 %, 50 %, 80 % und 100 % dargestellt (■—). Der absolute Wassergehalt der Luft bei $F_r = 100 \%$ und einer Temperatur von 37°C ist also 43,6 g/m³.

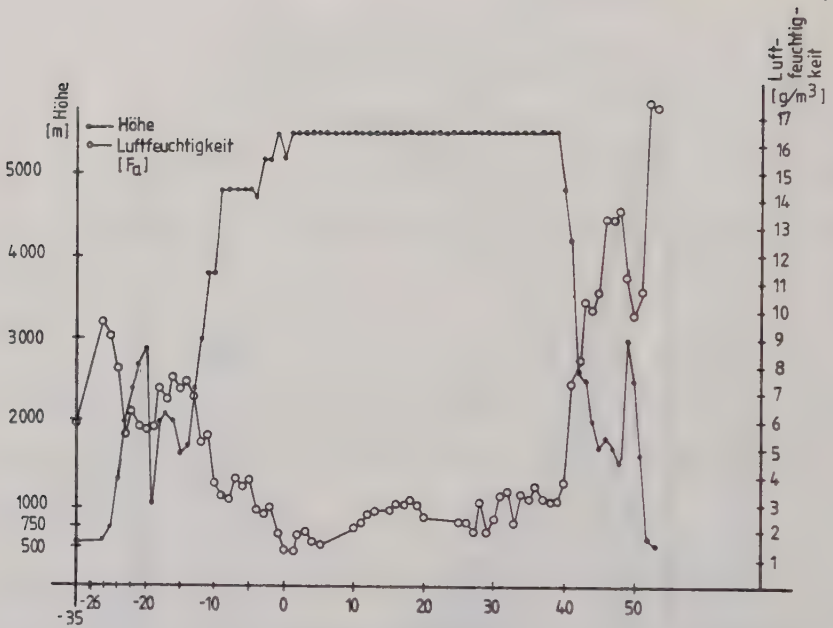


Abbildung (5): Zeitlicher Verlauf der Höhe der Wetterstation
und Auftragung der absoluten Luftfeuchtigkeit,
die dort gemessen wurde.

3.3. Ekg und Kreislauf

a) Belastungs-Ekg's in München:

In München wurden 9 Bergsteiger einem Belastungs-Ekg unterzogen. Dabei erbrachten die Probanden je 3 Minuten lang eine Leistung von 150, 200 und 250 Watt.

Bei allen Ekg's lagen in Ruhe Steil- bzw. Indifferenztypen vor. Außer einer, bei nahezu allen Probanden verschieden stark aufgetretenen Sinusbradycardie von durchschnittlich 57/min (Streuung von 37/min bis 72/min), wurden nur vereinzelt T- Abflachungen ohne ST- Streckenveränderungen festgestellt. Auch die Belastungsstreifen zeigten einen völlig normalen, leistungsentsprechenden Erregungsablauf. Eine Herzfrequenzerhöhung setzte nur zögernd ein.

b) Ekg's während des Basislageraufenthaltes:

Es wurden jeweils die Standardableitungen nach Einthoven und die Extremitätenableitungen nach Goldberger angefertigt. Die Auswertung der PQ-, QRS- und QT-Zeiten ergab keine Besonderheiten des Erregungsablaufes sowohl zu Beginn wie am Ende des Basislageraufenthaltes. Die Herzfrequenzen lagen am ersten Meßtag bei durchschnittlich 80/min (Streuung 62 - 88) und am zweiten Meßtag, d.h. nach einer Höhenexposition von 186.000 FE, bei 74/min (Streuung 56 - 96). Wenn auch nicht bei allen Probanden gleich stark, so zeigte sich doch eine leichte Rechtsabweichung der elektrischen Herzachse in den Ekg's des ersten und zweiten Basislagermeßtages. Die Wertegruppen der einzelnen Probanden sind im einzelnen der Tabelle (4) zu entnehmen.

Während bei einigen Teilnehmern kaum eine Veränderung stattfand, konnte bei anderen eine Drehung um bis zu 40° gemessen werden. Sichere elektrokardiographische Anzeichen für eine Rechtsherzbelastung bzw. -überlastung konnten nicht festgestellt werden.

Ausgangswert München	Basislagermessungen	
	1. Meßtag	2. Meßtag
78	77	55
52	72	78
98	96	92
58	98	90
66	83	-
88	-	90
63	74	85
-	35	57
72	108	82
67	-	90
84	90	90
73	81	81

Tabelle (4):

Die Lage der elektrischen Herzachsen der Probanden an den drei Meßtagen (in Winkelgraden im Uhrzeigersinn aus der Horizontalen). In der letzten Zeile stehen die Mittelwerte der jeweiligen Meßtage.

c) Ekg's und Kreislauf während der Arbeit und in der Ruhe
in den Hochlagern III und IV (ohne Zusatzsauerstoff)

Diese Aufzeichnungen wurden an drei Probanden gemacht. Es zeigten sich in keinem Ekg, sowohl in Ruhe wie unter Belastung, Rhythmusstörungen. Während des Aufstieges lag die Frequenz im Bereich von 150/min, in den Hochlagern (ohne Zusatzsauerstoff) in Ruhe bei etwa 110/min.

3.4. Wasserhaushalt

3.4.1. Gesamtkörperwasser (GKW)

Bei den drei Probanden ergab sich während des Anmarsches zum Basislager im Vergleich zu den Ausgangswerten in München eine geringe Steigerung des GKW im Bereich von 0,4 - 1,7 l ($\bar{X} = +1,0$ l), wobei die zwei Bergsteiger mit den höheren Ausgangswerten auch den höheren Zuwachs verzeichneten. Im Basislager verringerte sich dann zwischen den einzelnen Höhenvorstößen dieser Wasserraum bei allen drei Alpinisten deutlich im Bereich von 2,9 - 11,3(!) l ($\bar{X} = -5,9$ l). Während der weiteren Tage des Aufstieges zum Gipfel fiel das GKW-Volumen zweier Expeditionsteilnehmer weiter deutlich ab (-7,1 l, -1,9 l), während der Dritte einen Anstieg von 1,7 l zu verzeichnen hatte ($\bar{X} = -2,4$ l). Nach der Rückkehr vom Gipfel ergab sich erneut ein durchschnittlicher Abfall von 0,6 l (-1,6 l, -1,5 l), wobei sich allerdings das GKW eines Probanden um 1,3 l erhöhte.

Die Hämodilution beeinflusste den Abwärtstrend bei zumindest zwei Alpinisten nicht.

Somit zeigte sich während des Anmarsches eine geringe Erhöhung des GKW auf 102 %, die von einem starken Abfall unter Basislagerbedingungen mit zwischenzeitlichen alpinistischen Vorstößen auf 85 % des Ausgangswertes gefolgt war. Nach Rückkehr vom Gipfel wurde ein Minimum mit 83 % erreicht. Dabei bestand eine enge Korrelation mit dem Körpergewicht (KG) (siehe Abbildung (6)).

Der Quotient $\frac{\overline{\text{GKW}}}{\overline{\text{KG}}}$ (siehe Tabelle (5)) nahm vor dem Gipfelsturm mit 0,57 seinen niedrigsten Wert an, d.h., der prozentuale Anteil des GKW war hier am geringsten. Da hier auch die Differenz $\text{KG} - \text{GKW}$ mit 29,5 (kg) ihren höchsten Wert erreichte - wobei 1 l GKW = 1 kg angenommen wurde -, kann geschlossen werden, daß die Gesamtabnahme des KG im wesentlichen auf eine Abnahme des GKW zurückzuführen ist und daher auch in der Feldstudie die Messung des KG mit einer gewissen Näherung eine Aussage über das Verhalten des GKW erlaubt. Ein graphischer Vergleich ist in Abbildung (6) dargestellt.

Meßtag (RTg)	-40	-8	17	26	33
$\overline{\text{KG}}$ (kg)	73	72	69	69	66
$\overline{\text{GKW}}$ (l)	46,8	47,8	41,9	39,5	38,9
$\overline{\text{GKW}}$ (%)	100	102	90	85	83
$\frac{\overline{\text{GKW}}}{\overline{\text{KG}}}$					
	0,64	0,66	0,61	0,57	0,59
$\overline{\text{KG}} - \overline{\text{GKW}}$ (kg)	26,2	24,2	27,1	29,5	27,1

Tabelle (5):

Die arithmetischen Mittelwerte der jeweiligen Meßtage des Körpergewichtes ($\overline{\text{KG}}$ (kg)) und des Gesamtkörperwasser ($\overline{\text{GKW}}$ (l)), sind aufgeführt. Außerdem ist die prozentuale Entwicklung des Gesamtkörperwassers ($\overline{\text{GKW}}$ (%)) und die Entwicklung des Quotienten ($\frac{\overline{\text{GKW}}}{\overline{\text{KG}}}$) und der Differenz $\overline{\text{KG}} - \overline{\text{GKW}}$ (kg) dargestellt (Siehe Text).

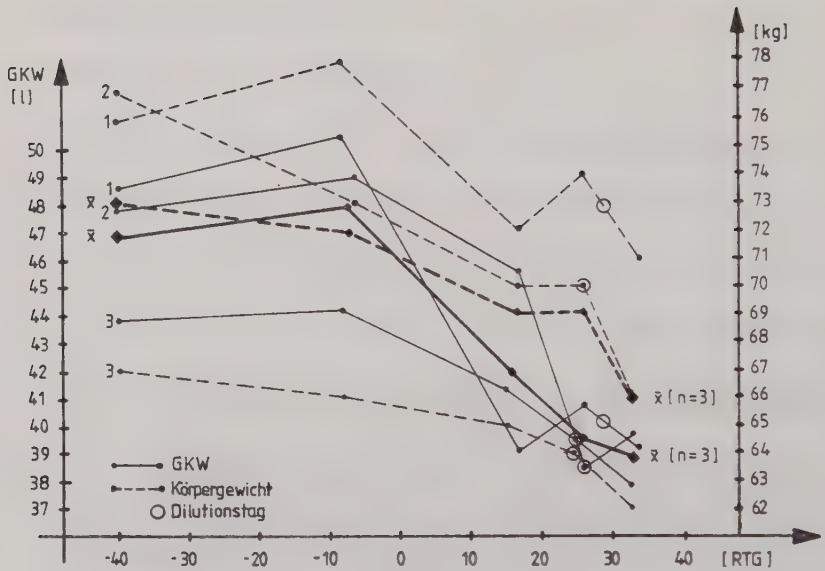


Abbildung (6): Gesamtkörperwasser (GKW) und Körpergewicht:
Graphische Gegenüberstellung der Verläufe des Gesamtkörperwasservolumens und Körpergewichtes der drei Probanden, wobei gleiche Ziffern dem gleichen Probanden entsprechen. Die mit $\bar{X}$ und ◆ gekennzeichneten Kurven entsprechen dem arithmetischen Mittelwert der jeweiligen Meßtage ($n = 3$).

3.4.2. Plasmavolumen (PV)

Das Plasmavolumen der drei Probanden zeigte vom Ausgangswert in München von durchschnittlich 3113 ml (2970-3280 ml) ab eine langsam fallende Tendenz, die über Werte von $\bar{X} = 2840$ ml (2780-2910 ml) während des Anmarsches zum Basislager zu einem Mittelwert von 2660 ml (2560-2830 ml) während des Aufstieges führte. Eine geringe Erholung auf 2830 ml (2410-3160 ml) ergab sich nach der Hämodilution vor dem Gipfelsturm. Nach der Rückkehr vom Gipfel wurde dann ein absolutes Minimum von $\bar{X} = 2370$ ml (2260-2590 ml) gemessen. Durch die Hämodilution wurde der Trend zu niedrigeren PV - Werten nicht abgeschwächt.

So erfährt also das PV eine Abnahme auf schließlich 76 %, wobei sich lange ein Niveau von ca. 90 % des Ausgangswertes hält. Betrachtet man die prozentuale Entwicklung des PV am GKW (siehe Tabelle (6)), so zeigt sich eine steigende Tendenz in den Tagen der Höhenexposition; es scheint also unter den gegebenen Umständen versucht zu werden, die Verluste des PV über das GKW auszugleichen.

Meßtag (RTg)	-40	-8	17	26	33
$\frac{PV \times 100}{GKW}$	6,65	5,94	6,35	7,15	6,09

Tabelle (6):

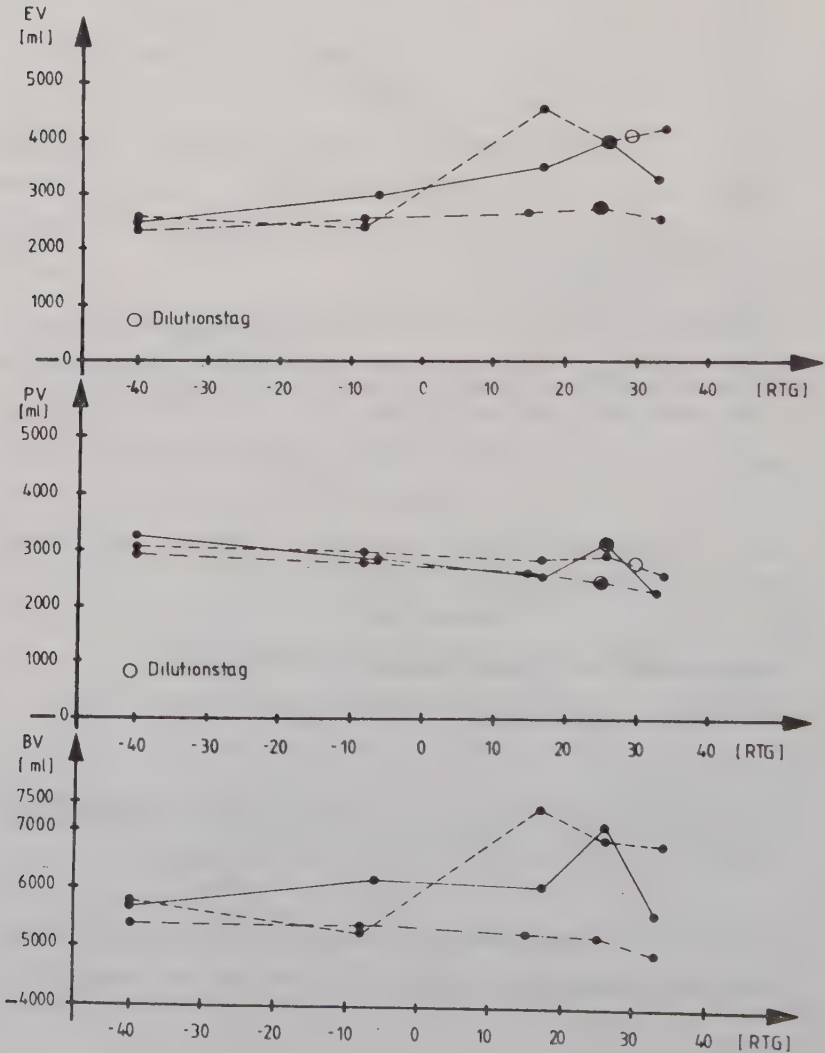
Die prozentualen Anteile des Plasmavolumens am Gesamtkörperwasser an den einzelnen Meßtagen sind aufgeführt.

Aus den Werten des Plasmavolumens und den Hämatokritwerten läßt sich direkt das Gesamtblutvolumen (BV) errechnen.

Durch Subtraktion der beiden Volumina (BV) - PV erhält man dann das Erythrozytenvolumen (EV). In der Abbildung (7) sind diese Parameter zum Vergleich aufgetragen.

Abbildung (7):

BV, PV und EV im Vergleich: Vergleichsweise Auftragung der Meßwerte des Blut- (BV), Plasma-(PV) und Erythrozytenvolumens (EV). Gleiche Punktsymbole entsprechen derselben Person.



3.4.3. 24 - Stunden - Urin (24 - h - Urin)

Die tägliche Urinausscheidung der 11 Bergsteiger lag beim Abflug aus München im Mittel bei 1098 ml/Tag (Streubreich: 600 ml/d bis 1600 ml/d). Dies änderte sich während des Aufenthaltes in Kathmandu nicht. Zu Beginn des Anmarsches in Dharan Bazar sank die Ausscheidung auf einen Tiefstand von durchschnittlich 739 ml/d bei einem Streubereich von 450 ml/d bis 900 ml/d ab. Diese Werte wurden bei subtropischen Temperaturen (bei einem Tagesmittel von 17°C - 22°C) gemessen. Im Verlauf einer Rast auf dem Anmarsch zum Basislager stieg dann die tägliche Urinausscheidung auf durchschnittlich 1675 ml/d (Streubereich 800 ml/d bis 3100 ml/d) an und sank in der Folgezeit kontinuierlich ab. Auch in den Tagen des Aufstieges zu Lager I und II war ein weiterer Abfall zu verzeichnen ($\bar{X}$ = 950 ml/d, Streubereich: 650 ml/d bis 1200 ml/d). Dann erfolgte ein neuer leichter Anstieg der Werte während des Aufstieges zu den Lagern III und IV ($\bar{X}$ = 1144 ml/d, Streubereich: 800 ml/d bis 1800 ml/d). Nach Rückkehr vom Gipfel wurde innerhalb der Erholungsphase von 24 Stunden bis 5 Tagen ein erneutes Maximum gemessen ($\bar{X}$ = 1440 ml/d, Streubereich: 600 ml/d bis 2300 ml/d). So ergab sich jeweils in den Tagen körperlicher Aktivität ein deutlicher Abfall der täglichen Urinausscheidung, während die Tage der Erholung durch deutliche Anstiege gekennzeichnet waren (Abbildung (8)).

Besonders deutlich wurde dieser Verlauf bei der Betrachtung der Werte am Relativtag 34: Die erste Gipfelgruppe,

die schon seit 5 Tagen vom Gipfel zurück war, zeigte die durchschnittlich höchsten Ausscheidungswerte mit 1616 ml/d (1200 ml/d bis 2200 ml/d). Die zweite Gruppe, die erst zwei Tage vorher auf dem Gipfel stand, bot durchschnittlich 1033 ml/d (800 ml/d bis 1200 ml/d) und die dritte Gruppe, die unmittelbar vor der Messung abgestiegen war, schied durchschnittlich nur 766 ml/d aus (500 ml/d bis 1200 ml/d). Dies zeigt, daß mit der Dauer der Erholung auch die tägliche Urinausscheidung anstieg. Deutliche Abweichungen von den beschriebenen Tendenzen zeigte keiner der Alpinisten.

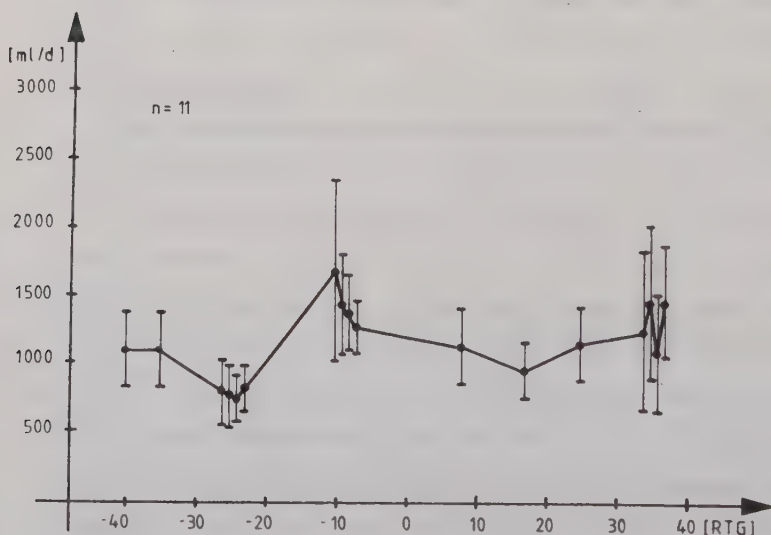


Abbildung (8):

24 - Stunden - Urin: Graphische Darstellung des zeitlichen Verlaufes der durchschnittlichen Urinausscheidung der Bergsteigergruppe (n = 11) und der Standardabweichung.

3.4.4. Kolloidosmotischer Druck (KOD)

Das Mittel der Werte des kolloidosmotischen Druckes lag zu Beginn der Unternehmung mit 34,4 cm H₂O im Normbereich. Die Streuung betrug dabei 30,0 - 43,0 cm H₂O. Bei Ankunft in Dharan Bazar war der Durchschnitt schon auf 42,6 cm H₂O (36,4 - 53,2 cm H₂O) angestiegen. Während des Anmarsches zum Base - Camp ergab sich dann ein leichter Abfall auf 41,8 cm H₂O (36,4 - 53,2 cm H₂O), dem ein deutlicher Aufschwung auf 48,8 cm H₂O (43,0 - 56,4 cm H₂O) während des Aufstieges zu Lager I folgte. Dann errechnete sich jedoch ein starker Abfall des KOD mit Werten von 42,4 cm H₂O (35,0 - 54,8 cm H₂O) und 40,0 cm H₂O (34,4 - 52,0 cm H₂O) während des weiteren Vorstoßes. Die Rückkehr vom Gipfel brachte dann auch eine Rückkehr der KOD-Werte auf das Ausgangsniveau mit sich, $\bar{X} = 37,7$ cm H₂O (31,6 - 43,0 cm H₂O) (Abbildung (9)).

3.4.5. Urinosmolalität (OSM)

Die Urinosmolalität aller Expeditionsteilnehmer lag bei der Abreise in München im Bereich von 780 bis 1260 mosm/kg ($\bar{X} = 986$ mosm/kg). Dies änderte sich auch während der ersten Tage des Anmarsches nicht. Erst kurz vor dem Erreichen des Basislagers begannen die Werte deutlich zu divergieren. Der Schwankungsbereich lag jetzt zwischen 235 und 1600 mosm/kg und der Mittelwert war 825 mosm/kg. Diese große Streuung verengte sich gegen Ende der Expedition wieder auf das Intervall 280 - 1300 mosm/kg ($\bar{X} = 750$ mosm/kg).

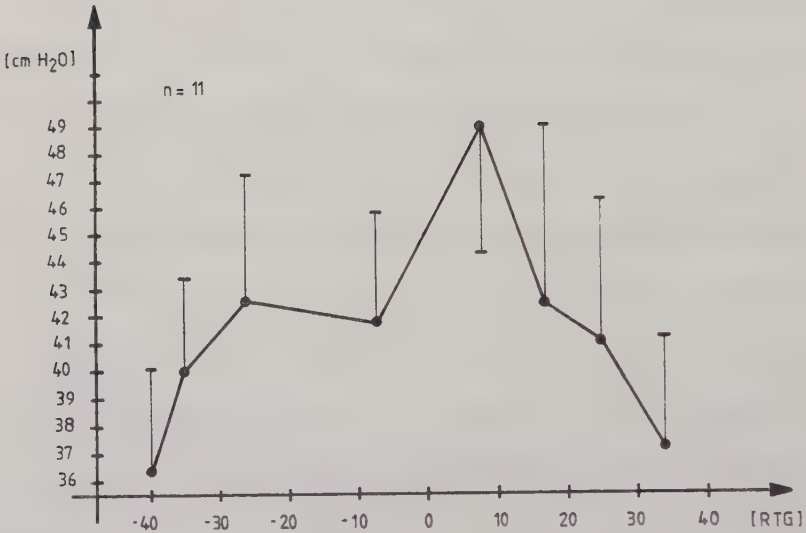


Abbildung (9): Kolloidosmotischer Druck (KOD):

Graphische Darstellung des zeitlichen Verlaufes
des kolloidosmotischen Druckes im Plasma (Durch-
schnittswerte) und der Standardabweichung (n = 11).

3.5. Elektrolyte

3.5.1. Natrium

a) Plasma

Der Natrium Plasmaspiegel aller Teilnehmer lag bei der Abreise aus München bei einem Durchschnitt von 144,3 mmol/l und einem Schwankungsbereich von 140 - 150 mmol/l in der Mitte des klinischen Normalbereiches. Während des gesamten Anmarsches änderte sich an diesen Konstellationen wenig ($\bar{X}$ = 139,8 - 142,8 mmol/l mit einem Streubereich von 133 - 151 mmol/l). Erst in den Tagen des Aufstieges zum Lager III ergab sich eine weite Streuung der Werte von 122 - 168 mmol/l ($\bar{X}$ = 146,3 mmol/l), wobei vier Bergsteiger den 155 mmol/l - Wert überschritten und 2 Bergsteiger 122 mmol/l und 126 mmol/l hatten. Der weitere Anstieg am Berg wurde von einem Abfall der Natrium Serumwerte begleitet, der in den Tagen des Gipfelsturmes sein Minimum mit einem Durchschnitt von 135 mmol/l erreichte und (bis auf 2 Ausnahmen: 120 mmol/l und 152 mmol/l) einen Streubereich von 133 - 140 mmol/l aufwies. Bei Abschluß der Unternehmung lagen die Werte der meisten Teilnehmer (Ausnahme: 120 mmol/l und 166 mmol/l) im Intervall von 135 mmol/l bis 146 mmol/l. Der beschriebene Trend wurde nur von einem Bergsteiger deutlich durchbrochen: Die Werte schnellten von 122 mmol/l auf 175 mmol/l während des Aufstieges zum Lager III empor und lagen auch bei Ende der Expedition noch bei 166 mmol/l.

b) Urin

Die tägliche Natriumausscheidung lag zu Beginn der Unternehmung in dem Bereich zwischen 87 - 368 mmol/Tag ($\bar{X}$ = 203 mmol/Tag) und fiel in den ersten Marschtagen ab Dharan Bazar auf einen Durchschnittswert von 127 mmol/Tag (Streuung: 57 - 201 mmol/Tag). Bei der Ankunft im Basislager lag die Natriumausscheidung im Urin im Bereich von 184 - 332 mmol/Tag. Der Mittelwert war 255 mmol/Tag. Dieses Niveau sank in den Tagen des Gipfelmarsches auf einen Durchschnittswert von 195 mmol/Tag und eine Streuung von 131 - 274 mmol/Tag ab.

Die Natriumkonzentration im Urin schwankte in ihrem Mittel während der gesamten Zeit zwischen 157 - 200 mmol/l und wies keine erkennbaren Tendenzen auf. Die Schwankungsbreite lag zwischen 67 und 273 mmol/l.

3.5.2. Kalium

a) Plasma

Die Kaliumwerte im Plasma der ganzen Gruppe lagen vor dem Abflug in München in einem engen Intervall im unteren Drittel des Normbereiches ($\bar{X}$ = 3,88 mmol/l, Streuung 3,60 - 4,20 mmol/l) und stiegen vor dem eigentlichen Abmarsch in Dharan Bazar leicht innerhalb des Normbereiches an (4,47 mmol/l, Streuung 3,87 - 5,14 mmol/l). Während des Anmarsches zum Basislager fielen die Kaliumwerte im Plasma leicht ab (allerdings immer in der Mitte des Normbereiches) und blieben bis zum Ende der Unternehmung in dieser Höhe.

Ausnahmen von diesem Verlauf bildeten drei Bergsteiger, die in den Tagen des Aufstieges zum Lager II einen kurzfristigen Anstieg der Kalium-Plasmakonzentration um ca. 1,1 mmol/l auf ca. 5,2 mmol/l zeigten.

b) Urin

Die tägliche Kaliumausscheidung im Urin zeigte vor dem Abflug in München ein breites Intervall ($\bar{X} = 45,0$ mmol/Tag, Streuung 21,8 - 61,1 mmol/Tag). Dieses verengte sich in den ersten Tagen des eigentlichen Anmarsches ab Dharan Bazar und der Durchschnittswert fiel auf 21,5 mmol/Tag ab (Streuung 11,0 - 30,4 mmol/Tag). Auf dem weiteren Anmarsch stieg die tägliche Kaliumausscheidung dann auf einen Wert von 39,0 mmol/Tag an. Die Einzelwerte lagen dabei in einem Intervall zwischen 22,6 und 43,0 mmol/Tag. Dieses Niveau sank bis zum Ende der Unternehmung nur mehr gering ab auf 33,0 mmol/Tag (Streubereich 19,3 - 47,7 mmol/Tag).

Die Kalium-Urinkonzentration zeigte keine großen Schwankungen. Die Durchschnittswerte sanken von ihrem Ausgangsniveau von 40,9 mmol/l auf ca. 25,0 mmol/l in Dharan Bazar und verblieben auf dieser Höhe bis zum Ende der Expedition.

3.5.3. Chlorid

Die Chloridkonzentration wurde nur im Plasma bestimmt. Bei der Abreise in München lag sie bei 103 mmol/l (Streuung 83 - 116 mmol/l) und änderte sich während des gesamten

Anmarsches nur wenig; es war lediglich ein leichter Anstieg auf durchschnittlich 107,8 mmol/l bei einer Streuung von 103 - 113 mmol/l zu verzeichnen.

In den ersten Tagen des Aufstieges zu Lager I zeigten 4 Bergsteiger deutlich erhöhte Chlorid-Plasmawerte, was eine Erhöhung des Durchschnittes auf 118,2 mmol/l brachte. Ohne diese 4 erhöhten Werte lag der Durchschnitt der restlichen Expeditionsmitglieder bei 107,7 mmol/l. Während des weiteren Aufstieges kehrte der Chlorid-Plasmaspiegel aller Bergsteiger wieder in die Nähe des Ausgangswertes zurück und lag in den Tagen des Gipfelsturmes bei Werten um 106 mmol/l (Streuung 94 - 122 mmol/l). Nach Rückkehr vom Gipfel erhöhte sich die durchschnittliche Chlorid-Plasmakonzentration leicht auf 108,7 mmol/l (94 - 132 mmol/l). Die Werte der durchschnittlichen Plasmakonzentration von Chlorid lagen ursprünglich bei 103 mmol/l im mittleren Normbereich (94 - 111 mmol/l) und stiegen während des Anstieges zum Basislager um ca. 4,4 % auf 107,8 mmol/l an; der weitere deutliche Aufschwung um ca. 10 % auf durchschnittlich 118,2 mmol/l war im wesentlichen auf vier Bergsteiger mit hohen Werten zurückzuführen. Drei von ihnen boten am gleichen Abnahmetermin auch die höchsten Na^+ - Werte der Gruppe. Ebenso wie die Na^+ - Plasmawerte sanken die Cl^- - Plasmawerte in den folgenden Tagen des Aufstieges in die Lager III und IV um nahezu dieselbe Prozentzahl ab bzw. erholen sich nach der Rückkehr vom Gipfel um dieselben Prozentpunkte.

3.5.4. Zusammenfassung der Resultate von Natrium, Kalium und Chlorid

Die Plasmakonzentrationsverläufe von Natrium und Chlorid verhielten sich gleichsinnig und zeigten zu gleichen Zeiten gleiche Tendenzen. Die Werte lagen dabei durchschnittlich im oberen Teil des jeweiligen Normbereiches, der für Chlorid zwischen 98 und 110 mmol/l und für Natrium zwischen 134 und 154 mmol/l angenommen wurde. Der Plasmaspiegel von Kalium zeigte die genau gleichen Tendenzen wie die beiden obengenannten Elektrolyte und bewegte sich in der Mitte seines klinischen Normalbereiches (3,1 - 5,4 mmol/l) (Tabelle (7)).

Die tägliche Ausscheidung im Urin, deren Normbereiche mit 60 - 80 mmol/d für Kalium und mit 44 - 270 mmol/d für Natrium angenommen wurden (aus Welz, Geigy Tabellen), lag bei Kalium im Bereich von durchschnittlich 21 - 45 mmol/d und bei Natrium zwischen 127 und 264 mmol/d. Somit fiel auf, daß die tägliche Kaliumausscheidung bei im Normbereich bleibender Kalium - Plasmakonzentration deutlich unter dem klinischen Normalbereich lag, während die Natriumsausscheidung, wie die Natrium - Plasmakonzentration nicht von der Norm abwichen.

Tabelle (7):

RTg	SI	Na ⁺ (mmol/L)	Na ⁺ (%)	K ⁺ (mmol/L)	K ⁺ (%)	Cl ⁻ (mmol/L)	Cl ⁻ (%)
-40	000000	144	101,3	3,9	100,1	103	97,7
-35	000100	142	<u>100,0</u>	3,9	<u>100,0</u>	105	<u>100,0</u>
-26	000700	143	100,2	4,5	114,9	107	101,5
-07	013636	140	98,3	4,0	103,8	108	102,1
08	067772	146	102,8	4,5	116,4	118	112,0
17	099204	141	99,6	4,1	106,7	111	104,8
25	134222	136	95,3	4,3	110,0	106	100,9
34	171127	141	99,0	4,3	111,7	109	103,0

Tabelle (7): Plasmakonzentrationen der Elektrolyte Natrium, Kalium und Chlorid an verschiedenen Meßtagen und deren prozentuale Änderungen.
(SI = Tagesintegralsumme der gesamten Expedition (Durchschnitt aller Teilnehmer)).

3.5.5. Zink

a) Plasma

Die Zink-Plasmakonzentration lag bei der Abreise in München bei einem Durchschnittswert von 10,95 mmol/L in einem Intervall von 9,8 - 13,0 mmol/L und änderte sich auch während des Aufenthaltes in Kathmandu wenig ($\bar{x}$ = 10,55 mmol/L Streuung von 8,4 - 13,2 mmol/L). Mit Beginn des Anmarsches verdoppelte sie sich jedoch sprunghaft und lag während der gesamten restlichen Unternehmung im Bereich zwischen 19,2 und 25,2 mmol/L (Tabelle (8)).

b) Urin

Die tägliche Zinkausscheidung im Urin zeigte noch viel deutlichere Veränderungen. Von einem Ausgangswert von 14,8 mmol/Tag (Streuung 1,0 - 48,0 mmol/Tag) stieg sie während des Anmarsches zum Basislager auf 130,6 mmol/Tag (Intervall 8,0 - 229,0 mmol/Tag) und blieb auf diesem Niveau. Gegen Ende der Unternehmung ergab sich dann erneut ein Anstieg auf 177,7 und 183,4 mmol/Tag (Streuung 54,0 - 315,0 mmol/Tag), was einer Steigerung um mehr als das Zwölfwache entspricht. Die Konzentration von Zink im Urin verlief nahezu analog. Von einem durchschnittlichen Spiegel von 6,9 mmol/l schnellte sie auf 158,7 mmol/l während des Anmarsches und fiel gegen Ende desselben auf einen Pegel von ca. 75 mmol/l ab. In den Tagen des hohen täglichen Zinkausstoßes am Ende der Expedition fand sich dann entsprechend ein erhöhter Zinkspiegel von 127 mmol/l im Urin.

3.5.6. Calcium

Die Plasma - Calcium Werte lagen vor der Abreise in München zwischen 2,0 und 2,25 mmol/l. Während des Aufenthaltes in Kathmandu erhöhten sie sich im Durchschnitt leicht (Intervall 2,0 - 2,4 mmol/l). In Dharan Bazar, dem eigentlichen Beginn des Anmarsches, war der durchschnittliche Plasma - Calcium Spiegel weiter angestiegen und die Streuung größer geworden (1,9 - 2,52 mmol/l). Kurz vor der Ankunft im Basislager erreichte die Calciumkonzentration im Plasma ihre höchsten Werte ($\bar{X}$ = 2,53 mmol/l, Streuung 2,2 - 2,8 mmol/l).

Von diesem Zeitpunkt an fielen die Durchschnittswerte ab und erreichten in den Tagen des Gipfelsturmes ein deutliches Minimum ($\bar{X} = 2,05 \text{ mmol/l}$, Streuung $1,7 - 2,45 \text{ mmol/l}$). Nach der Rückkehr vom Gipfel erholten sich die Plasma-Calcium-Spiegel deutlich, wenn auch innerhalb einer größeren Schwankungsbreite ($\bar{X} = 2,24 \text{ mmol/l}$, Streuung $1,76 - 3,02 \text{ mmol/l}$). Während der gesamten Meßperiode blieben zwei Bergsteiger konstant in ihren Werten hinter dem Durchschnitt zurück. Sie bewegten sich im Bereich zwischen $1,76$ und $2,2 \text{ mmol/l}$. Ein besonderer Kurvenverlauf ergab sich bei zwei weiteren Alpinisten: Die Plasma-Calcium-Konzentration sank an den Tagen um die Errichtung des Lagers II um $0,5 \text{ mmol/l}$ auf $2,02 \text{ mmol/l}$ und um $0,98 \text{ mmol/l}$ auf $1,75 \text{ mmol/l}$ ab. So blieb also der Calciumpegel des Plasmas im Durchschnitt mit einer Schwankung von -8% unter und $+15 \%$ über dem Ausgangspunkt von $\bar{X} = 2,22 \text{ mmol/l} \hat{=} 100 \%$ im klinischen Normbereich (Tabelle (8)).

3.5.7. Magnesium

a) Plasma

Die Ausgangswerte in München von Magnesium im Plasma lagen in einem engen Bereich ($\bar{X} = 0,77 \text{ mmol/l}$, Streuung $0,63 - 0,85 \text{ mmol/l}$) an der unteren Grenze des Normalbereiches. Während des Anmarsches zum Basislager änderten sich die Plasmakonzentrationen durchschnittlich wenig und stiegen erst in den Tagen des Aufstieges zum Lager III leicht an ($\bar{X} = 0,81 \text{ mmol/l}$, Streuung $0,7 - 1,01 \text{ mmol/l}$). Dieses Niveau wurde bis zu den Tagen des Gipfelsturmes gehalten,

an denen eine leichte Erhöhung des Durchschnittswertes und eine größere Streuung beobachtet wurde ($\bar{X} = 0,86 \text{ mmol/L}$, Streuung $0,7 - 1,13 \text{ mmol/L}$). Aus diesem durchschnittlichen Konzentrationsverlauf fielen nur die Werte zweier Bergsteiger heraus, die sowohl in Dahran Bazar ($0,48 \text{ mmol/L}$, $0,50 \text{ mmol/L}$) als auch während des Anstieges zu den Hochlagern ($1,30 \text{ mmol/L}$) auffielen (Tabelle (8)).

b) Urin

Analog zu dem ausgeglichenen Mg^{++} - Konzentrationsverlauf im Plasma lagen die Werte der täglichen Magnesiumausscheidung im Urin während der gesamten Unternehmung im unteren klinischen Normalbereich mit etwas größer werdender Streuung in den Tagen des Gipfelmurmes. Die Magnesiumkonzentration im Urin lag bei allen Teilnehmern während der gesamten Zeit im klinischen Normalbereich unter 8 mmol/L . Eine Ausnahme ergab sich lediglich bei einem Alpinisten; dessen Werte zu Beginn und am Ende der Expedition grenzwertig erhöht waren.

Tabelle (8):

RTG	$\overline{\text{SI}}$	Zn^{++} (mmol/L)	Zn^{++} (%)	Mg^{++} (mmol/L)	Mg^{++} (%)	Ca^{++} (mmol/L)	Ca^{++} (%)
-40	000000	11,0	103,8	0,77	97,4	2,16	97,6
-35	000100	10,6	<u>100,0</u>	0,79	<u>100,0</u>	2,22	<u>100,0</u>
-26	000700	24,6	233,3	0,72	91,3	2,24	101,4
-07	013636	22,3	211,3	0,75	95,9	2,54	114,5
08	067772	25,2	238,9	0,88	112,0	2,31	104,1
17	099204	23,3	220,5	0,80	102,4	3,30	103,7
25	134222	23,2	219,9	0,80	102,4	2,05	92,6
34	171127	19,2	182,2	0,86	109,6	2,25	101,3

Tabelle (8):

Plasmakonzentrationen der Elektrolyte Zink, Magnesium und Calcium an den verschiedenen Meßtagen und deren prozentualen Änderungen ($\overline{\text{SI}}$ = Tagesintegralsumme der gesamten Expedition) (Durchschnitt aller Teilnehmer).

3.6. Sauerstofftransport

3.6.1. Sauerstoffaffinität des Blutes:

2,3 - Diphosphoglycerat (2,3 - DPG)

Der 2,3 - DPG - Gehalt der Erythrozyten wurde bei allen Bergsteigern in München, zweimal während des Anmarsches zum Basislager, einmal im Basislager vor und einmal im Basislager nach dem Gipfelsturm bestimmt. Dabei zeigte sich mit zunehmender Höhenexposition ein deutlicher Anstieg der Durchschnittswerte von 4,69 $\mu\text{mol/ml}$ Zellen in München, über 4,72 $\mu\text{mol/ml}$ in Dharan Bazar (500 m) und 6,08 $\mu\text{mol/ml}$ in Ramser (4800 m) auf 6,27 $\mu\text{mol/ml}$ im Basislager (5500 m). Während der Hochlageraufenthalte konnten nur von drei Bergsteigern Proben entnommen werden. Dabei zeigten sich bei allen Dreien Spitzenwerte bis zu 9,30 $\mu\text{mol/ml}$, also mehr als das Doppelte der 2,3 - DPG - Spiegel, die während des Anmarsches zum Basislager gemessen wurden. Nach Rückkehr vom Gipfel sanken die Durchschnittswerte aller Alpinisten leicht unter den Basislagerwert vor dem Gipfelsturm ab (Abbildung (10)).

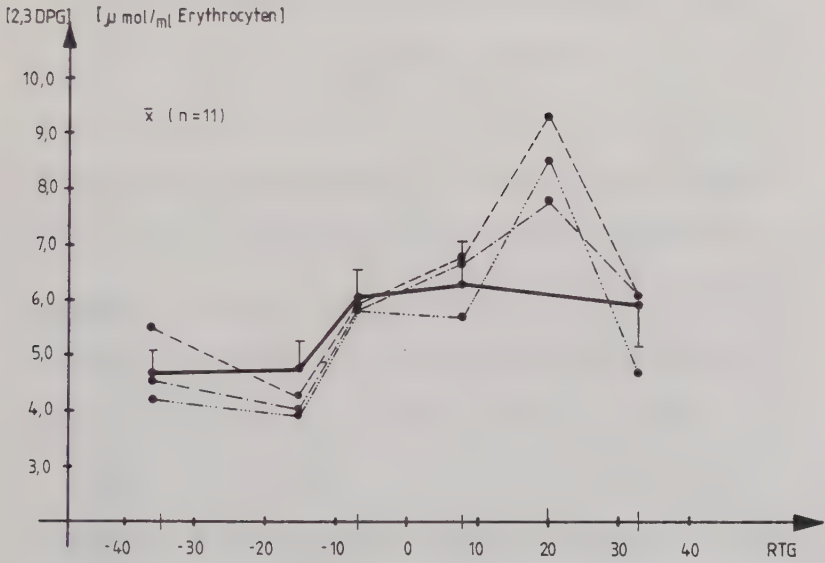


Abbildung (10): 2,3 - DPG Verlauf dreier ausgewählter Bergsteiger (gestrichelte Linien), die im Hochlager III gemessen wurden (RTg 20) und durchschnittlicher 2,3 - DPG Verlauf bei allen Expeditionsteilnehmern ($n = 11$) (ohne Hochlagerwerte) mit Standardabweichung (●—).

3.6.2. Hämatokrit

Beim Abflug aus München lagen die Hämatokritwerte der Alpinisten im klinischen Normbereich (42 - 52 %) oder in dessen Grenzbereich. Der Durchschnittswert aller Teilnehmer war 45,9 %.

Während der Durchschnitt bis zum Tag des Abmarsches von Dharan Bazar nur gering abfiel (44,7 %), schrumpfte der Streuungsbereich auf 43 - 49 %.

Der Anmarsch zum Basislager brachte einen leichten Anstieg der Hämatokritwerte aller Bergsteiger auf ein Mittel von 47,2 % und ein Intervall von 44 - 51 %. Erst der Aufstieg zu den Hochlagern hatte eine deutliche Hämatokriterhöhung auf durchschnittlich 56 % (Streuung 53 - 62 %) zur Folge; dieser Trend setzte sich in den Tagen des Aufbaues des Lagers III fort ($\bar{x}$ = 56,6, Streuung 53 - 62 %).

Vor dem jetzt bevorstehenden Gipfelsturm wurden alle Bergsteiger, außer einem, hämodiluiert und der mittlere Hämatokritwert fiel leicht auf 55,8 % ab (Intervall 52 - 60 %) - mit Ausnahme des nicht Diluierten, der bis zum Expeditionsende einen Anstieg auf 68 % zu verzeichnen hatte - und stieg erst gegen Ende der Unternehmung weiter an auf 59,5 % (Streubereich 53 - 68 %) (Abbildung (11)).

So blieben also die Werte lange im Bereich des Ausgangsniveaus und stiegen erst während des Anmarsches leicht, während des Basis- und Hochlageraufenthaltes dann stärker auf bis zu 123 % des Ausgangswertes an. Die Hämodilution vor dem Gipfelanstieg führte zu einer Unterbrechung der steigenden Tendenz und einem Absinken um ca. 2 Prozentpunkte. Nach Rückkehr vom Gipfel ergab sich dann ein Maximum von 130 % des Ausgangswertes.

HAEMATOKRIT

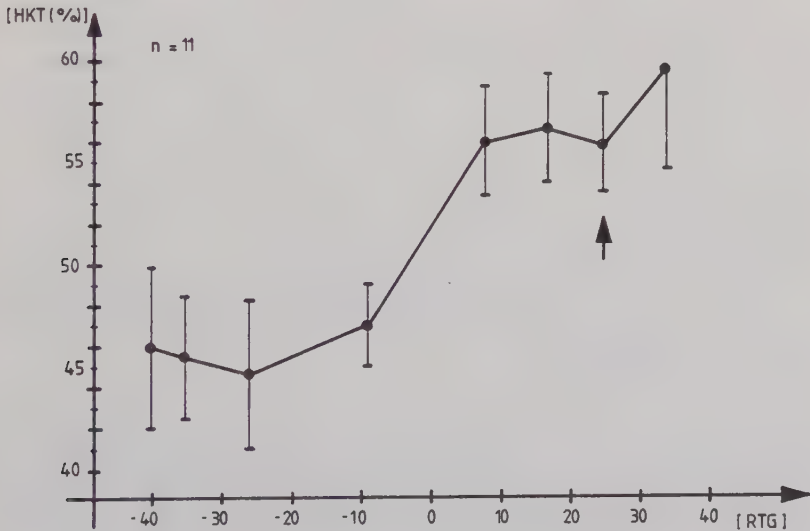


Abbildung (11): Zeitlicher Verlauf des durchschnittlichen Hämatokritwertes ($n = 11$). Der Dilutions-tag ist durch einen Pfeil gekennzeichnet.

3.7. Säure - Basen - Haushalt

Laktat

Bei der Messung der Plasma - Laktat - Werte handelte es sich um die Bestimmung der Nüchtern - Ruhe - Werte.

Ausgehend von einem engen Intervall zu Beginn der Unternehmung (1,00 - 1,80 mmol/l $\bar{x}$ = 1,32 mmol/l) stiegen die Plasma - Laktat - Werte im Durchschnitt leicht an ($\bar{x}$ = 1,95 mmol/l) und bewegten sich während des Anmarsches im Bereich von 1,21 - 2,70 mmol/l. Ein erstes relatives Maximum ergab sich in den Tagen während der Errichtung des Lagers II (6650 m), als Werte zwischen 1,72 und 3,97 mmol/l gemessen wurde, wobei sich ein Mittel von 2,40 mmol/l errechnete. Die folgenden Aufstiegstage brachten einen geringfügigen Abfall auf Durchschnittswerte von 2,02 und 2,14 mmol/l (Streuungsreich 1,44 - 2,70 mmol/l) und nach Rückkehr vom Gipfel ergab sich ein Mittel von 2,21 mmol/l bei einer Schwankungsbreite von 1,16 - 2,98 mmol/l.

Insgesamt waren bei Einzelpersonen keine deutlichen Abweichungen von dem Gesamttrend zu beobachten, der über die ganze Zeit der Unternehmung hinweg eine leicht steigende Tendenz zeigte.

3.8. Körpergewicht und Körperoberfläche

Körperoberfläche

Die Körperoberfläche lag zu Beginn der Unternehmung zwischen 1,70 und 2,06 m² ($\bar{x} = 1,89 \text{ m}^2$).

Entsprechend dem Berechnungsmodus (konstante Körpergröße vorausgesetzt) verhielten sich die Tendenzen der Änderungen wie die des Körpergewichts. Bis zum 10. Tag vor der Ankunft im Basislager errechnete sich auf dem Anmarsch ein leichter Anstieg des Durchschnittes auf 1,91 m² (Intervall 1,71 - 2,08 m²), der während der folgenden beiden Rasttage einen leichten Abfall auf 1,89 m² (Streuung 1,71 - 2,08 m²) nach sich zog. Eine leicht fallende Tendenz blieb auch während der Tage des eigentlichen Aufstiegs am Berg erhalten. Das Minimum wurde an den ersten 3 Tagen nach der Rückkehr vom Gipfel erreicht mit einem Durchschnittswert von 1,84 m² und einer Streuung zwischen 1,69 m² und 1,97 m²).

Wie bei den Verläufen der Körpergewichtswerte ist festzustellen, daß die Bergsteiger mit den größten Körperoberflächen am Anfang die größten Verluste hatten, während die Bergsteiger mit der kleineren Ausgangskörperoberfläche nur wenig an Oberfläche einbüßten oder gar zunahmen; nur bei einem Alpinisten zeigte sich ein gegensinniger Verlauf.

Körpergewicht

Der Mittelwert der Körpergewichte der 11 Bergsteiger lag beim Abflug aus München bei 73,7 kg, wobei der höchste Wert 87 kg und der niedrigste Wert 64 kg war. Während des Anmarsches stieg der Durchschnitt leicht auf ein Maximum von 74,8 kg am 10. Tag vor Ankunft im Basislager (Streuung 65 kg - 89 kg). Die folgende zweitägige Rast brachte einen Abfall auf ca. 72,0 kg. Auf diesem Niveau blieb dann das Durchschnittsgewicht während der restlichen Anmarschstage und der Tage des Aufstiegs zu Lager I. Die Tage des weiteren Anstiegs und des Gipfelsturms waren gekennzeichnet von einer weiteren Gewichtsabnahme, die in den Tagen nach der Rückkehr vom Gipfel zu einem Minimum mit einem Durchschnittsgewicht von 68,8 kg und einer Streuung von 62 kg bis 76 kg führte. Dieses Niveau blieb dann bis zum Ende der Expedition erhalten, wenngleich einige der Bergsteiger an den letzten beiden Meßtagen eine Gewichtszunahme von bis zu 2 kg zeigten (Abbildung 12)).

Im einzelnen ist festzustellen, daß die Bergsteiger mit dem höchsten Ausgangsgewicht bis zum Ende am stärksten an Gewicht abnahmen, während die leichteren Alpinisten nur wenig Gewicht verloren oder sogar zunahmen.

Die Hämodilution in Form von Infusion (n = 10) führte zu keiner mit Sicherheit auf sie zurückzuführenden Beeinflussung des Körpergewichtes, da 8 der 10 Infundierten gewichtsmäßig dem während des Aufstiegs vorherrschenden Trend nach

unten weiter folgten (so auch der nicht diluierte Bergsteiger), während die restlichen 2 Alpinisten eine Körpergewichtszunahme um 2 kg zu verzeichnen hatten.

Für drei ausgewählte Bergsteiger siehe auch Abschnitt: Gesamtkörperwasser.

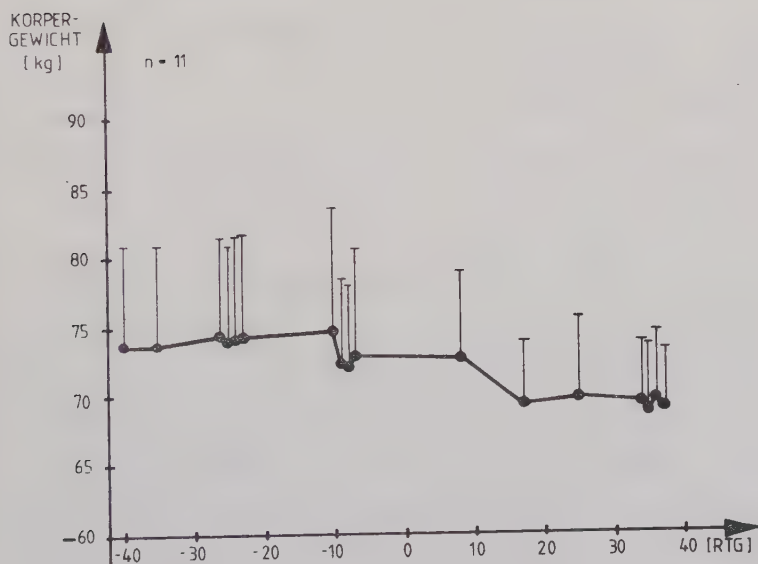


Abbildung (12): Zeitlicher Verlauf des durchschnittlichen Körpergewichtes aller Expeditionsteilnehmer (n = 11).

4. Diskussion

4.1. Allgemeines

In der Literatur gibt es nur wenige Untersuchungen über Personen, die einer vergleichbaren Höhenexposition wie die Probanden der vorliegenden Studie ausgesetzt waren. Außerdem können die Daten verschiedener Versuchspersonen, die anderer Höhenexposition und anderen Umweltbedingungen ausgesetzt waren, nur bedingt zum Vergleich herangezogen werden. Eine Möglichkeit dies zu verbessern, soll die - in dieser Arbeit zum Vergleich noch nicht zur Verfügung stehende - Einführung eines Maßes für die Höhenexposition, die Tagesintegralsumme und die kumulative Höhenkorrelationszahl bieten (110).

Einige höhenmedizinische Probleme, die bisher hauptsächlich in Unterdruckkammerversuchen untersucht wurden, wobei einzelne Umweltkomponenten, die auf den Expeditionsbergsteiger einwirken (Kälte, Luftfeuchtigkeit, Leistungsstress, Höhenexposition, Erschöpfung, Einschränkung der Nahrungs- und Flüssigkeitszufuhr etc.) kaum berücksichtigt werden konnten, wurden bei diesem Feldversuch unter Realbedingungen studiert. Hierbei stehen die Vorteile der Untersuchung unter der Bedingung einer realen Umwelt den Nachteilen der schwierigen Arbeitsbedingungen mit der Folge eingeschränkter Verwertbarkeit der Ergebnisse gegenüber.

Weiterhin können die untersuchten Parameter nur Teilaspekte der Gebiete "Herz", "Wasserhaushalt", "Elektrolythaushalt", "Säure - Basen - Haushalt" und "Sauerstofftransport" beleuchten. Die Folge daraus ist, daß kaum Aussagen über den physiologischen Gesamtmechanismus gemacht werden können.

4.2. Diskussion der Methodik

Bei der Beurteilung der Meßergebnisse muß beachtet werden, daß bei der Gewinnung von Proben unter Expeditionsbedingungen, bei deren Aufbereitung im Basislagerlabor bzw. deren Transport von Nepal nach Europa einerseits und bei der direkten Messung von Parametern am Probanden andererseits die Wahrscheinlichkeit des Entstehens von Fehlern höher ist als unter Laborbedingungen. Es kann jedoch festgestellt werden, daß die Untersuchungsgeräte, die für die wiedergegebenen Messungen eingesetzt wurden, einwandfrei arbeiteten. Auf die Verwendung von Studienergebnissen, deren Meßqualität fraglich war, wurde in der vorliegenden Arbeit verzichtet.

Die computergerechte Aufbereitung der Meßdaten für Großcomputer bedeutet gegenüber der konventionellen Auswertung "per Hand" einen gewissen, dem vorliegenden Datenumfang nicht entsprechenden Mehraufwand. Sie muß jedoch unter dem Gesichtspunkt des Aufbaues eines Datenpools zur Ermöglichung einer vergleichenden Höhenphysiologie und Höhenmedizin gesehen werden. Nur die Schaffung eines solchen Pools erlaubt eine statistisch relevante Bewertung von höhenbedingten Erscheinungen, die bisher immer unter dem Manko kleiner Fallzahlen litt.

4.3. Diskussion der Ergebnisse

4.3.1. Höhenprofile

Wie schon im Abschnitt 3.1. angeführt, erbrachte die Berechnung des Tagesintegrals, der Tagesintegralsumme und der kumulativen Höhenkorrelationszahl und deren Auftragung gegen die anderen gemessenen Parameter in dieser Arbeit mangels vergleichbarer Veröffentlichungen noch keine neuen Erkenntnisse. Sinn der vorliegenden Berechnungen war es, einen Grundstock für künftige Vergleiche zu schaffen (110).

4.3.2. Meteorologische Messungen

Es ist bekannt, daß Temperatur und Luftfeuchtigkeit einen bedeutenden Einfluß auf die körperliche Leistungsfähigkeit ausüben (85). Außerdem wurde im Zusammenhang mit der höhenbedingten Hypohydration schon wiederholt die Frage nach dem Verbleib des Wassers gestellt (19, 34, 36, 56) und dies teilweise in Verbindung mit der Luftfeuchtigkeit gebracht. Die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Ergebnisse lassen diesen Zusammenhang als durchaus wahrscheinlich erscheinen. Da zur Vollsättigung auf $F_r = 100\%$ bei 37°C , die in der Alveolarluft herrscht, ein absoluter Feuchtigkeitsgehalt von $43,60\text{ g/m}^3$ (siehe Abbildung (4)) benötigt wird, muß die Atemluft mit dem Differenzbetrag von ca. 40 g Wasser angereichert werden. Diese Flüssigkeitsmenge geht, da sie aus der Expirationsluft kaum zurückgewonnen werden kann, dem Organismus zum größten Teil verloren.

Wie aus den Berechnungen hervorgeht, ist die bei den herrschenden Temperaturen angetroffene absolute Luftfeuchtigkeit durchaus geeignet, einen respiratorischen Wasserverlust bis zu $40 \text{ g/m}^3 \text{ Luft}$ zu bewirken. Dies umso mehr, als die durch körperliche Anstrengung und Sauerstoffmangel erhöhte Atemfrequenz eine gesteigerte Abatmung angefeuchteter Expirationsluft verursacht, was zu einem Nettoverlust von 5 - 8 l/Tag führen kann. Die in den Abschnitten "Wasserhaushalt", "Hämatokrit" und "Körpergewicht" beschriebenen Veränderungen könnten also sehr wohl auf diese Art des Wasserverlustes zurückgeführt werden.

Außerdem ist dieses Moment der unterschiedlichen respiratorischen Feuchtigkeitsabgabe zu diskutieren bei den zu verschiedenen Ergebnissen gelangenden körperlischen untersuchenden Studien bei simulierter und echter Höhenexposition, da Angaben hierüber in den Arbeiten meist fehlen.

4.3.3. Ekg_und_Kreislauf

Die Belastungs - Ekg's am Anfang des Unternehmens entsprachen ganz dem erwarteten Ekg trainierter Sportler, sowohl im Lagetyp (Steiltyp, Indifferenztyp) wie in der Frequenz (Sinusbradykardie). Die T-Abflachungen, wie sie bei zwei Probanden festgestellt worden waren, sind nicht pathologisch und können als Hinweis auf einen leicht veränderten Sympathikotonus gewertet werden.

Im Vergleich zu den Bedingungen in München zeigten die Herzfrequenzen aller Teilnehmer im Basislager entsprechend der höheren Kreislaufbelastung im Ruhe - Ekg eine deutliche Steigerung (vergleiche: (22, 35, 60, 100)). Mit zunehmender Höhenexposition scheinen sie sich wieder leicht zu verringern (von 80/min auf 74/min). Bei der Bewertung dieser Angaben muß jedoch die große Streubreite beachtet werden. Eine gewisse Ursächlichkeit könnte dem Wasserhaushalt über das Plasmavolumen zukommen, das, wie bei drei Probanden während dieser Zeit nachgewiesen, deutlich abgenommen hatte (siehe Abschnitt: "Wasserhaushalt" 3.4.).

Das Fehlen von Rhythmusstörungen, wie sie von Opitz und Green (37, 75) beobachtet worden waren, weist darauf hin, daß die direkten hypoxischen Effekte auf das Herz nur begrenzt wirksam geworden waren.

Schon in früheren Arbeiten wurde auf eine Rechtsabweichung der elektrischen Herzachse hingewiesen (76, 86). Die vorliegenden Ekg's zeigen zwar ebenfalls Rechtsabweichungen der elektrischen Herzachse, weitere Ekg-Zeichen für eine Rechtsherzbelastung oder -hypertrophie konnten jedoch nicht festgestellt werden, so daß ein Zusammenhang nicht nachgewiesen werden konnte.

Die in den Hochlagern angefertigten Ekg's bestätigen die von Brendel et al. (9) in geringeren Höhen gemachten Beobachtungen für große Höhen: Bei trainierten Sportlern ist nur eine geringe Abweichung der Herzfrequenz bei Belastung vom Ruhewert zu erwarten, wobei berücksichtigt werden muß, daß die Ruhefrequenz bei 110/min lag. Pathologische Belastungszeichen waren auch hier nicht zu erkennen. --

4.3.4. Wasserhaushalt

Wie schon oben bemerkt, gibt es in der Literatur nur sehr wenige Quellen, in denen über den Wasserhaushalt bei Personen berichtet worden ist, die in vergleichbarer Weise wie die Probanden höhenexponiert waren. Einen guten Überblick über die bisher verfügbare Literatur bieten die Arbeiten von Hannon (41, 43), Hogan III (44) und Frayser (32).

Die heute wohl unumstrittene Erkenntnis, daß das Plasmavolumen (PV) bei Höhenexposition abnimmt, wurde bereits von Grawitz (36) erstmals erkannt. Weitere Ergebnisse lieferten die Arbeiten von Asmusson und Consolatio (2), Asmusson und Nielson (3), Merino (66), Surks et al. (93), Hannon (41), Consolatio (19), Pugh (82), Lawrence (61), Frayser (32) und Hultgren (48). Der größte Teil der Untersucher beobachtete denselben Rückgang des PV bei Höhenexposition, nämlich 500 - 900 ml bzw. 20 - 30 % des ursprünglichen Plasmavolumens. Dieser Tiefpunkt wird normalerweise einige Wochen nach Beginn der Höhenexposition beobachtet. Ergänzend ist allerdings zu sagen, daß die Verringerung des PV, auch wenn sie unmittelbar nach dem Beginn der Höhenexposition auftritt, über längere Zeitabschnitte hinweg bestehen kann. So fand Reynafarje (84) über einige Monate hinweg erniedrigte Werte bei männlichen Studenten, die von Lima nach Morococha gekommen waren. Ähnliche Resultate wurden an Bergsteigern im Himalaya, die einige Monate lang auf Höhen um 5500 m lebten (Pugh (82)) und

an Studentinnen, die einige Monate am Pikes Peak verbrachten (Hannon (41)), beobachtet. Schließlich ergaben sich ähnliche Werte auch bei der Untersuchung von Frayser (32) an männlichen Freiwilligen in den Kanadischen Rockies. Die vorliegenden Untersuchungen ergeben bezüglich des PV dieselben Aussagen.

Zur Klärung der Frage, ob die Abnahme des PV hauptsächlich auf eine negative Wasserbilanz zurückzuführen sei, wurde eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt. Schon früh wurden von mehreren Autoren Überlegungen angestellt, ob der von ihnen beobachtete Flüssigkeitsverlust von bis zu 5 - 8 l/Tag (16, 39, 107) auf erhöhte Abgabe durch Schwitzen (34) oder durch Abatmung (36) bedingt sei. Als weitere Möglichkeit zur Entstehung einer negativen Wasserbilanz diskutierte man eine verringerte Flüssigkeitszufuhr, die einerseits auf ein verringertes Durstgefühl nach körperlicher Anstrengung in der Höhe und andererseits auf die besonderen Schwierigkeiten bei der Zubereitung entsprechender Getränkemengen aus Schnee zurückgeführt wurde (13). Später wurden diese Überlegungen neu angestellt als beobachtet wurde, daß nicht nur das Plasmavolumen, sondern auch das Körpergewicht einer Abnahme unterworfen war (19, 83).

Zwar liegen Arbeiten vor, in denen keine signifikanten Flüssigkeitsverluste nachgewiesen werden konnten (20, 38), jedoch erachten heute mehrere Autoren die Hypohydration als das Hauptmerkmal der Höhenexposition (3, 19, 32, 44, 57).

Eine genauere Differenzierung erfuhr diese Einschätzung durch die Beobachtungen von Galeotti und Signorelli (34), die in den Alpen unter Ruhebedingungen eine positive Wasserbilanz, bei körperlichen Anstrengungen jedoch einen deutlichen Wasserverlust feststellten. Tatsächlich wurde ein solchermaßen erhöhter Wasserverlust bei Höhenexposition und körperlicher Arbeit von Nevison an Himalayabergsteigern (72) und von Buskirk und Mendez (8) berichtet. Brendel fand während einer Karakorumexpedition 1964 24 - Stunden - Urinmengen von 150 - 250 ml in einer Höhe von 6400 m, die als Folge erhöhter Wasserverluste gewertet wurden (10). Einen indirekten Hinweis auf sehr niedrige Ausscheidungsmengen bei Hypohydration geben die Angaben von Pines (80), dessen Meßwerte für das spezifische Gewicht des Urins von Höhenbergsteigern im Himalaya zwischen 1,025 und 1,030 lagen. Da Hypohydrationszustände nicht nur bei Expeditionsbergsteigern, sondern auch bei Trekkingtouristen auftreten, konnte von Zink et al. (108) gezeigt werden. Auch die Messungen des 24 - Stunden - Urinvolumens in der vorliegenden Arbeit scheinen - betrachtet man das Ausscheidungsverhalten nach Rückkehr vom Gipfel und in der Erholungsphase - diese Beobachtungen zu unterstützen.

Zur genaueren Abschätzung der Flüssigkeitsverluste versuchte man, mit direkten Methoden die Flüssigkeitskompartimente zu messen. Zuerst wurden im Tierversuch (77, 96) teils widersprüchliche Ergebnisse bezüglich der Wasserbilanz gewonnen.

Dabei wurden die Deuterium - und die Tritiummethoden benutzt, die in ihrer Aussagekraft nicht unumstritten sind (41). Beim Menschen wurden dann die Deuterium (D_2O) - und die 4-Aminoantipyrin (4AA) - Methoden angewendet, wobei wiederum unterschiedliche Ergebnisse erzielt wurden. So fanden Picón - Reategui (78, 79) und Siri (88) mit der 4AA - Technik bzw. mit der Tritiumtechnik relativ normale Hydrationszustände. Nevison (72) beobachtete keine Änderung des GKW-Gehaltes mit der D_2O - Technik. Und auch Bauskirk und Boyer (8) konnten mit derselben Methode keine Veränderungen feststellen. Neuere Untersuchungen von Krzywicki (57) mit der D_2O - Technik zeigten einen signifikanten Abfall des GKW, während Frayser (32) mit der 4AA - Methode keine signifikante Änderung des GKW nachweisen konnte. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde ein deutliches Absinken des GKW-Gehaltes gemessen. Die statistische Aussagekraft ist aber wegen der geringen Fallzahl fraglich ($n = 3$). Außerdem sind die Ergebnisse mit denen früherer Arbeiten nur bedingt vergleichbar, da erhebliche Unterschiede in Ernährung und körperlicher Leistung (Expeditionsbedingungen) bestanden haben, bei Parametern also, deren Einfluß auf den Wasserhaushalt als wesentlich beschrieben worden ist (57, 62).

In einer häufig zitierten Veröffentlichung von Hannon (43), in der sogar ein Ansteigen des GKW aufgezeigt wird, sind Volumenverschiebungen aus dem Extrazellulärvolumen in das Intrazellulärvolumen beschrieben.

Im Gegensatz dazu stehen die Untersuchungen von Krzywicki (57), die eine Zunahme des Extrazellulärvolumens und eine Abnahme des Intrazellulärvolumens ergaben und diejenigen Fraysers (32), bei denen keine signifikanten Änderungen des Extrazellulärvolumens gefunden wurden. Bei der Diskussion über diese Wasserverschiebungen wurde das Augenmerk hauptsächlich auf Elektrolytverschiebungen und Permeabilitätsänderungen gelegt (43, 62). Die Beobachtungen des kolloidosmotischen Druckes im Plasma während unserer Arbeiten deuten nun auf die Möglichkeit einer gewissen Beeinflussung durch diesen Faktor hin, der wohl auch bei der Pathogenese der Höhenkrankheit in deren unterschiedlichen Erscheinungsformen direkt mit in Betracht gezogen werden muß. So würde der hier gefundene Anstieg des Plasma - KOD eine Flüssigkeitsrückverschiebung ins Gefäßnetz begünstigen. Andererseits fällt diese Erhöhung des KOD mit dem Auftreten der hohen Hämatokritwerte und dem stärksten Abfall des Gesamtkörperwassers (GKW) und des Plasmavolumens (PV) zusammen, so daß absolut doch mit einer Abnahme der Wasserbindungskapazität gerechnet werden muß. Dies wäre durch Eiweißverluste aus dem Blut aufgrund der katabolen Stoffwechsellage auch denkbar. Während weiterer Höhenexposition fällt der KOD auch trotz noch zunehmender Hämokonzentration ab; nach Eiweißzufuhr durch Hämodilution mittels Infusion und gesteigertem Flüssigkeitsangebot "per os" erreicht er schließlich nahezu seinen Ausgangswert. Leider liegen keine Daten vergleichbarer Untersuchungen über den KOD vor.

Unsere Untersuchungen zeigten, daß auch während der beobachteten Schwankungen im Wasserhaushalt keine deutlichen Änderungen der Urinosmolalität als Antwort darauf erfolgten. Offensichtlich war ein Eingriff in diese Homöostase noch zu klein, um eine entsprechende Reaktion hervorzurufen. Literatur über vergleichbare Untersuchungen liegt mir leider nicht vor.

4.3.5. Elektrolyte

Natrium, Kalium und Chlord

Seit 1950 wurden Untersuchungen am Menschen durchgeführt, um die Wirkung von Sauerstoffmangel auf die Nebennierenrinde und deren Folgen auf den Elektrolythaushalt zu ergründen (103). Zuerst wurde eine erhöhte adrenocorticale Aktivität von Hale und Keator (40) bei akuter Höhenexposition festgestellt, wobei die Reaktion auf längere Höhenexposition aber nicht untersucht wurde. Ab 1956 konzentrierten sich die Nachforschungen auf den Elektrolytgehalt im Speichel während längeren Sauerstoffmangels, um so die adrenocorticale Funktion abzuschätzen. Zu dieser Zeit wurden zahlreiche Experimente mit dieser Methode durchgeführt, aber die Interpretation der Ergebnisse blieb strittig (Literaturhinweis siehe Literaturverzeichnis von Williams E.S. (103)). Die Arbeit von Williams E.S. und die Untersuchungen, zu denen sie Anlaß gab, waren für die Erforschung der menschlichen Nebennierenreaktion auf Hypoxie während der nächsten 10 Jahre richtungsweisend (5, 89, 90, 104).

Während der 70er Jahre wurden ausführlichere Forschungen angestellt, von denen einige die früheren Ergebnisse untermauerten, andere diese in Frage stellten (32). Sutton et al. (95) veröffentlichten 1977 eigene Untersuchungen und gaben dabei einen kurzen Überblick über die einschlägige Literatur. Dabei kristallisierte sich eine allgemeine Übereinstimmung darüber heraus, daß Sauerstoffmangel zu einem Konzentrationsanstieg von zirkulierendem Cortisol führte. Außerdem richteten die Autoren ihr Augenmerk auf den Effekt von Hypoxie auf das Renin - Angiotensin - Aldosteron - System, doch ist, obwohl einige solcher Arbeiten auch anderer Autoren in der letzten Zeit veröffentlicht wurden, der Einfluß von Hypoxie auf dieses System nicht geklärt (28, 29, 43, 44, 53, 62, 68, 69, 93, 94).

Schon frühe Studien der Natrium - Homöostase während Höhenexposition haben Hinweise auf eine Änderung des renalen Natriumfluxes geliefert. So hat schon von über 60 Jahren von Wendt von einer positiven Natriumbilanz während eines Alpenaufenthaltes berichtet (102).

Ulmann gab eine positive Natriumbilanz von 240 mEq bei einem zweitägigen Höhengaufenthalt in 3450 m an, wobei sich nachfolgend eine leicht negative Bilanz ergab (99). Spätere, weitergehendere Untersuchungen mit genauen diätetischen Natrium- und Kaliumkontrollen ergaben bei 10 Freiwilligen in einer Höhe von 14100 ft unveränderte Natriumverhältnisse (50), bzw. eine positive Natriumbilanz während eines folgenden zweitägigen Höhengaufenthaltes in 14483 ft.

Daraufhin führte eine negative Bilanz zu einer Abnahme von insgesamt 30 mEq während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes. 1972 beschrieb Epstein (28) eine positive Natriumbilanz, die auf eine abgefallene renale Filtrationsrate (zusammenhängend mit einer erniedrigten Kreatinin - Clearance) zurückgeführt wurde; als ursächlich für diese Beobachtung wurde der erniedrigte Barometerdruck erachtet.

Andererseits beobachtete Claybough (18) bei 10 Freiwilligen in einer Atmosphäre, die einer Höhe von 11000 ft entsprach, keinerlei signifikante Veränderungen der Plasmakonzentration von Natrium. Ebenso fand J.R. Sutton (95) bei Versuchen mit simulierter Höhe von 4760 m, daß sich die Plasmakonzentration von Natrium nicht änderte. Diese neueren Ergebnisse, wie die bei den vorliegenden Arbeiten gefundenen Daten, scheinen ein Hinweis dafür zu sein, daß Höhenexposition keinen wesentlichen Einfluß auf die Homöostase von Natrium ausübt. Die von Epstein (28) aufgestellte Hypothese der Einstellung eines neuen Fließgleichgewichtes für Natrium bei Höhenexposition kann deshalb nicht untermauert werden.

Allerdings schließt dies nicht im Zellmembranbereich gelegene Ionenverschiebungen von Natrium und Kalium aus, wie sie von Fishman (31) als Folge einer Störung der ATP - abhängigen Na - K - Pumpe diskutiert wurden und die als auslösend für lokale Ödeme erachtet wurden (46, 47).

Ein weiteres Moment zur Beurteilung der verschiedenen Ergebnisse wurde von Hannon (43) angegeben. In dieser Arbeit, in

der bei 9 Soldaten in 4300 m Höhe keine Änderungen der Natrium-Plasmakonzentration beobachtet werden konnte, wurde unter bestimmten Umständen ein deutlicher Elektrolytshift im Sinne einer Transmineralisation beschrieben, so daß eine Änderung in der Natriumbilanz ohne Veränderung in der Natriumkonzentration des Extrazellulär-raumes möglich erscheint. Die Messung der Natrium-ausscheidung in der vorliegenden Arbeit läßt aber unter den beschriebenen Umständen keine bedeutende Auswirkung dieser Möglichkeit erkennen, obwohl unter den gegebenen Expeditionsbedingungen auch die von Brendel et al. beschriebene kälteinduzierte Transmineralisation stattfinden könnte (11).

Torres et al. (98) haben durch Angiotensininfusionen gezeigt, daß sich die Natriumreabsorptionsleistung der Niere in der Höhe nicht von der in Seehöhe unterscheidet. Andere Autoren haben übereinstimmend berichtet, daß der Aldosteronspiegel im Plasma und die Aldosteronausscheidung im Urin bei Höhenexposition einen deutlichen Abfall zeigen. Legt man nun die Ergebnisse von Claybough, Sutton, Hannon (18, 43, 93) und die der vorliegenden Untersuchung, die keine Änderungen in der Natriumbilanz zeigten, zugrunde, so könnte dies ein Hinweis dafür sein, daß wie von Epstein (28) vermutet, nicht Aldosteron, sondern Änderungen in der glomerulären Natriumfiltration maßgeblich die Natriumhomöostase in der Höhe regelt.

Im Gegensatz zu den unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich der Natriumbilanz fanden mehrere Untersucher eine positive Kaliumbilanz während der Höhenexposition. Janoski (50) berichtete von

einer positiven Kaliumbilanz nach achttägigem Aufenthalt in einer Höhe von 14100 ft. Auch Slater fand eine positive Kaliumbilanz von 160 mEq nach einer Höhenexposition von fünf Tagen in 11480 ft Höhe; und auch die Studien von Epstein (28) ergaben eine positive Kaliumbilanz. Die vorliegenden Daten, die eine Kaliumretention bis zu durchschnittlich 16,4 % des Ausgangswertes aufweisen, bestätigen die Aussagen dieser Untersuchungen. Allerdings bleibt festzustellen, daß in Anbetracht der physiologischen Schwankungsbreite von 27 % um den Mittelwert des klinischen Normbereiches dieser nicht überschritten wurde.

Bei der Beurteilung des Verlaufs der Plasma - Chlorid - Konzentration muß beachtet werden, daß diese von mehreren Faktoren beeinflusst wird. Einerseits ist der Gesamtchloridbestand eng korreliert mit den Natrium-Bewegungen im Körper und somit Einflüssen wie Schwitzen, Diarrhöen und endokrinen Fehlregulationen unterworfen. Andererseits führt eine Veränderung der Plasma - Bicarbonat - Konzentration möglicherweise über einen konsekutiven Chloridshift durch die Zellmembranen zu einer gegenständlichen Chlorid - Konzentrationsänderung im Plasma. Schließlich wird die Chlorid - Konzentration noch durch den Eiweißgehalt des Plasmas beeinflusst, da nach dem Gibbs - Donnan - Gleichgewicht eine Flüssigkeit um so mehr Chlorid enthält, je eiweißreicher sie ist. Die in dieser Untersuchung gefundenen Tendenzen mit dem Anstieg der Plasma - Chlorid - Werte befinden sich in deutlicher Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Arbeiten (21, 42, 51, 89, 101, 32). Sehr gute Informationen lieferte die Arbeit von Janoski et al. (50), die in Versuchen

mit diätetischen Kontrollen positive Plasma - Chlorid - Bilanzen bei achttägigen Höhengufenthalten auf dem Pikes Peak beobachtet, und die von Hannon (43), wobei ein kompensatorisches Ansteigen von Chlorid im Plasma bei CO_2 - Verlusten beschrieben wurde. Ebenso wie dort wurde bei Janoski ein Anstieg der Chlorid - Plasma - Werte beobachtet, der korreliert war mit einem Abfall des alveolären PCO_2 . Es wurde dabei ein Kompensationsmechanismus mit CO_2 diskutiert. Nur bei einzelnen Veröffentlichungen wurden diese Trends nicht gefunden (55) oder nicht bei allen Probanden festgestellt (45).

Eine andere Beeinflussungsgröße, nämlich die Natriumkonzentration im Plasma, zeigte keine deutlichen Schwankungen oder sie verhielt sich in Einzelfällen konsensuell zu den Chlorid - Änderungen. Die dritte Beeinflussungsgröße, die Plasma - Eiweiß - Konzentration, wurde nicht gemessen.

Calcium, Magnesium, Zink

Bei den vorliegenden Untersuchungen über die nicht unmittelbar am renalen Bilanzierungsprozeß im Rahmen des Renin - Angiotensin - Aldosteron - Mechanismus beteiligten Elektrolyte Calcium, Magnesium und Zink, wurde bisher das Augenmerk hauptsächlich auf ihre, das verlorengegangene HCO_3^- kompensierende Kationenwirkung gelegt (42, 43). Während über die Änderungen der Plasmakonzentration von Zink jedoch praktisch keine Literatur vorliegt, wurde das Calcium von Dill et al. (21) während einer Andenexpedition, von Kjelsen und Damgaard (55) am Jungfrauoch, von Hannon et al. am Pikes Peak (42, 43) und von Claybaugh in

der Unterdruckkammer (18) gemessen und die Resultate veröffentlicht. Dabei wurden jeweils praktisch normale Calciumwerte beschrieben (18, 21, 43, 55) und nur in einer Untersuchung ergaben sich leicht erhöhte Pegel (42). Dieselben Ergebnisse zeigten sich in der vorliegenden Arbeit, bei der ebenfalls keine signifikanten Änderungen gefunden wurden; auch konnten keine klinischen Erscheinungen beobachtet werden, die durch eine Veränderung der Calciumkonzentration hätten bedingt sein können. Die Magnesium-Plasmaspiegel wurden bisher als ebenfalls gleichbleibend (55), leicht ansteigend (43) oder leicht abfallend (42) beschrieben. In der vorliegenden Studie konnten keine signifikanten Änderungen beobachtet werden.

Über die Ursache des Anstieges sowohl des Zink - Plasmaspiegels auf das 2,5fache, wie der täglichen Zink - Urinausscheidung auf das 12fache können, auch mangels vergleichbarer Literatur, nur Vermutungen angestellt werden. Gut denkbar wären alimentäre Beeinflussungen durch Konservennahrung oder spezielle Verunreinigungen in örtlichen Nahrungsmitteln.

Bezüglich der Kationenwirkung konnte also in der vorliegenden Untersuchung festgestellt werden, daß eine wesentliche kompensatorische Wirkung durch diese Ionen wohl nicht vorliegt. Dies trifft auch für die deutlichen Schwankungen im Zinkhaushalt zu, da sich die Zinkgesamtmenge im Plasma im μmol -Bereich bewegt und daher absolut keine große Wirkung zu erwarten ist.

4.3.6. Sauerstofftransport

4.3.6.1. Sauerstoffaffinität des Blutes:

2,3 - Diphosphoglycerat (2,3 - DPG)

Es ist eine bekannte Tatsache, daß bei Höhenexposition ein Adaptationsmechanismus im Sinne einer Rechtsverschiebung der Sauerstoffdissoziationskurve des Blutes abläuft (4, 63). Die Folge ist:

1. Eine Reduzierung der Sauerstoffaufnahme in den Lungen;
2. Eine Zunahme der Sauerstoffextraktion aus dem Blut in der Peripherie bei einem vorgegebenen P_{O_2} , und
3. Eine Erhöhung des peripheren P_{O_2} bei einer vorgegebenen Sauerstoffextraktion (24).

Dies ist für verschiedene Situationen, bei denen eine Rechtsverschiebung auftritt, aufgezeigt worden (97, 105). Neben der Beeinflussung der Sauerstoffbindungsfähigkeit von Hämoglobin durch 2,3 - DPG werden noch andere Parameter für die Lage der O_2 - Bindungskurve des Blutes als maßgeblich erachtet, wie der pH-Wert, der CO_2 - Partialdruck und die Temperatur (23, 64). Heute wird allgemein die Auffassung vertreten, daß die durch 2,3 - DPG induzierte Rechtsverschiebung der O_2 - Bindungskurve des Blutes in der Höhe die auf Grund der hypoxiebedingten respiratorischen Alkalose auftretende Linksverschiebung kompensiert und so die Sauerstoffaffinität des Blutes im Normalbereich gehalten wird (64, 13).

2,3 - DPG abhängige Verlagerungen der Sauerstoffbindungskurve werden im Rahmen der Höhenadaptation im Vergleich zu respiratorischen, kardialen und rheologischen Veränderungen sowie der Zunahme der O_2 - Kapazität des Blutes in der Höhe nicht als wesentlich erachtet. Andererseits wird die Bedeutung dieses Mechanismus immer wieder betont (24).

Bei der vorliegenden Untersuchung wurde, wie aus dem oben gesagten erwartet werden kann, ein Anstieg des 2,3 - DPG gemessen. Dabei war der Anstieg proportional zur Höhenexposition und der 2,3 - DPG - Gehalt stieg bei einzelnen Bergsteigern auf etwa das Doppelte des Ausgangswertes an. Dadurch werden die Aussagen früherer Untersuchungen (63, 71) auch in dieser Arbeit bestätigt.

Bei den anschließenden Messungen nach Rückkehr vom Gipfel ergaben sich Werte, die sich von den Basislagerwerten vor dem Gipfelsturm kaum unterscheiden. Dies ist wohl im wesentlichen auf die schnellen Veränderungen des 2,3 - DPG - Gehaltes, die mit Halbwertszeiten von 8 - 15 Stunden angegeben sind (67), zurückzuführen und kaum auf die zwischenzeitlich durchgeführte Hämodilution, die an dem Abfall nur unwesentlich beteiligt sein dürfte.

4.3.6.2. Hämatokrit

Der Hämatokritwert kann einerseits - mit gewissen Einschränkungen - als ein Ausdruck des aktuellen Hydrationszustandes eines Menschen gewertet werden. Andererseits hat die Hämokonzentration oder Hämodilution ihrerseits deutliche Auswirkungen auf die Viskosität, den Sauerstofftransport und den Wärmetransport.

Ausgehend von den im Abschnitt -"Plasmavolumen"- schon beschriebenen Erkenntnissen über die Hämokonzentration bei Höhenexposition, die in der Literatur einen breiten Raum einnehmen (2, 3, 19, 32, 36, 41, 48, 61, 66, 67, 73, 82, 84, 93, 106, 108), wurde die in der vorliegenden Studie gemessene Erhöhung des Hämatokritwertes von durchschnittlich ca. 23 % (beobachtet vor der Hämodilution) erwartet. Die Folge daraus sind eine Fülle von Veränderungen, die unter dem Begriff Hyperviskositätssyndrom zusammengefaßt sind. Die wichtigsten sind (12, 111)

1. Eine Erhöhung der Blutviskosität durch
 - a) ein relatives Ansteigen der zellulären Blutbestandteile,
 - b) eine geringere Verformbarkeit der Erythrozyten und deren Zusammenlagerung,
 - c) eine Konzentrationssteigerung der Gerinnungsfaktoren mit konsekutiver Steigerung der Koagulabilität des Blutes, und
 - d) eine Mikrothrombenbildung.

Daraus resultieren:

2. Mikrozirkulationsstörungen bis zur Stase mit Aggregatbildung mit Diapedeseblutungen und perifokalen Ödemen in Retina, Gehirn und Muskeln;
und daraus wiederum
3. eine Erhöhung des Pumpwiderstandes und der Afterloads bei entsprechender kardialer Belastung.
4. Veränderungen im Sauerstofftransportsystem durch Beeinflussung der Sauerstoffaufnahme in den Erythrozyten, der Sauerstoffbindung an Hämoglobin und die Sauerstoffabgabe an das Gewebe.

Die Mikrozirkulationsstörungen werden mit als ursächlich für die Entstehung der verschiedenen Formen der Höhenkrankheit, von dem einfachen höhenbedingten Unwohlsein über höhenbedingte Komplikationen wie Retinablutungen und Thrombembolien bis zu schwersten Formen von Hirn- und Lungenödemen erachtet (91, 111). Als pathophysiologische Mechanismen werden dabei besonders am Auge die durch rheologische Veränderungen und Mikroembolien bedingten Druckanstiege (87, 91), und mikrovaskuläre Permeabilitätsänderungen diskutiert (91). Ein weiteres Moment ist ein direkter Eingriff in die, durch verschiedene andere Parameter, wie Verschiebung der O_2 - Dissoziationskurve durch 2,3 - DPG - Einwirkung, Erniedrigung der CO_2 - Spannung, Veränderung des Blut - pH, Abnahme des Sauerstoffdruckes in der Atemluft und Erhöhung des Sauerstoffbedarfes in der Peripherie durch starke körperliche Belastung beim Bergsteigen, ohnehin beeinträchtigte Sauerstofftransportfunktion des Blutes.

Der Anstieg des Hämatokrits führt nämlich zu dem bekannten "Geldrollenphänomen", dessen Bedeutung in der Verkleinerung der Gasaustauschflächen der Erythrozyten und einer daraus resultierenden Verringerung des Sauerstoffaustausches der Zelle liegt.

Als zusätzliches Risiko für den Organismus ist die erhöhte Erfrierungsgefahr anzusehen, die durch die Abnahme der Zirkulation in den Extremitäten hervorgerufen wird. Eine Einschränkung der Fließeigenschaften des Blutes summiert sich mit den vasomotorischen Kälteschutzmechanismen zu einer, unter Umständen verhängnisvollen, Wärmeunterversorgung mangels Perfusion im Gebiet der Endstrombahnen. Die Summe der obengenannten Risiken und Veränderungen ließen es als sinnvoll erscheinen, eine Erniedrigung des Hämatokrits anzustreben. Während der vorliegenden Untersuchung wählte man zur Hämodilution die Infusion von ca. 500 ml eines Humanserumpräparates (Biseko^R). Bei anderen Unternehmungen (112) wurde mit isovolämischer Dilution (= Ersatz eines Aderlaßvolumens von 500 ml durch Biseko^R) gearbeitet. Auch die Methode der forcierten oralen Flüssigkeitszufuhr ist in Erprobung (73).

4.3.7. Säure - Basen - Haushalt (Laktat)

Der Plasmalaktatspiegel stieg, nach einer deutlichen Erhöhung auf dem Weg von München nach Dharan Bazar, zunächst in etwa mit der Zunahme der Höhenexposition und erreichte in den Tagen des sehr beschwerlichen Steilanstieges zu Lager I (6650 m) ein Maximum. Der anschließende Abfall und der darauf folgende langsame Laktatspiegelanstieg ergaben sich nach Überwinden dieser Hürde und unter späterer Zuhilfenahme von zusätzlichem Sauerstoff in großer Höhe. Eine Korrelation mit anderen Meßwerten (z.B. Hämatokrit) ließ sich nicht sicher nachweisen. Insgesamt zeigten die Werte aller Teilnehmer keine deutlichen Abweichungen vom Durchschnitt. Nach Rückkehr vom Gipfel wurden die Basislagerwerte trotz zusätzlicher Höhenexposition (= Hypoxie) nur gering übertroffen.

In grundlegenden Arbeiten (1, 52, 54) wurden schon früher die direkten Zusammenhänge zwischen Sauerstoffaufnahme und Laktatmetabolismus dargestellt. Dabei handelte es sich hauptsächlich um Untersuchungen, die das Laktatverhalten bei Arbeitsbeginn und die damit eingegangene Sauerstoffschuld betrachteten. In der vorliegenden Arbeit wurde eine leichte Erhöhung der Nüchtern - Ruhe - Laktatspiegel unter Höhenexpositionsbedingungen (ab Anmarsch ins Basislager) gegenüber den Ausgangswerten in München um 1mmol/l festgestellt.

Zum Vergleich:

In der Arbeit von Mc Manus et al. (65) wurde in einer simulierten Höhe von 3060 m (bei einer Arbeitsleistung von ca. 30 % der Maximalleistung auf Meereshöhe) ein maximaler Laktatkonzentrationsanstieg, 10 Minuten nach Arbeitsbeginn, von etwa 0,9 mmol/l gemessen. Dies deutet also entweder auf eine etwas verringerte Fähigkeit des Organismus hin, in großer Höhe Laktat abzubauen, oder auf ein immer wieder erneutes Eingehen der Sauerstoffschuld. In einem Beitrag von Cerretelli zu dem Höhensymposium in Murnau 1979 (17) kam zum Ausdruck, daß sich die Kinetik der Elimination von Laktat aus dem Blut in hypoxischer Umgebung von der in normoxischen Umgebung nicht unterscheidet. Unter Berücksichtigung dieses Sachverhaltes scheint also eine Veränderung des "Steady state" im Sinne einer dauernden, leichten Sauerstoffschuld mit konsekutiver Laktaterhöhung im Plasma ab einer bestimmten Höhenexposition als Erklärung möglich.

4.3.8. Körpergewicht

Körpergewichtsabnahmen bei Höhenexposition sind eine schon lange bekannte und schon oft beschriebene Tatsache (2, 3, 61, 81). Die Ursachen für diese Veränderungen wurden in mehreren Arbeiten untersucht (43, 56, 57, 74, 93). Es werden folgende Möglichkeiten diskutiert:

1. - Wasserverluste
2. - Fettverluste
3. - Mineralverluste
4. - Proteinverluste

Aus den verschiedenen vorliegenden Studien ergibt sich die Wahrscheinlichkeit, daß ein Zusammenwirken aller dieser Faktoren verantwortlich ist, wobei unterschiedliche auslösende Momente den Intensitätsgrad der Ausprägung des Faktors beeinflussen:

- Flüssigkeitsabgabe an die Luft,
- Kälteexpositionsbedingte Protein-, Fett-, Mineral- und Flüssigkeitsverluste,
- Höhenexpositionsbedingte Protein-, Fett-, Mineral- und Flüssigkeitsverluste;

die beiden letztgenannten Gesichtspunkte waren Gegenstand vieler Untersuchungen (2, 3, 32, 43, 44, 56, 57, 93), die letztlich jedoch keine eindeutigen Ergebnisse erbrachten (siehe Abschnitt "Wasserhaushalt").

Lennquist beschrieb eine signifikante, kälteinduzierte Diurese (62), in anderen Veröffentlichungen wurden höhen- und kälteinduzierte renale Mineral- und Flüssigkeitsverluste angegeben (3, 19, 32, 44, 57). Weitere Untersucher konnten keine Änderungen in den Hydrationszuständen und im Mineralhaushalt finden (8, 72, 78, 79, 88). Von vielen Autoren wird heute jedoch die Hypohydration als das Hauptmerkmal der Höhenexposition erachtet.

O'Hara (74) gab einen Fettverlust bei Kälteexposition an, den er auf Proteinneusynthese, Ketose und ein Energiedefizit zurückführte. Eine sehr gute Aufschlüsselung veröffentlichte Krzywicki (56), die als Resultat hauptsächlich einen Körperwasserverlust als Ursache für den Gewichtsverlust erbrachte, wenn auch Massenverluste auf das Energiedefizit zurückzuführen waren; Proteinverluste wurden nicht festgestellt.

Die Frage, inwieweit Feuchtigkeitsverluste auf Abgabe an die Außenluft durch Schwitzen und Abatmung zurückzuführen sind, beschäftigte schon um die Jahrhundertwende die Untersucher (36). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit (siehe Abschnitt 4.3.2.) deuten auf einen erheblichen Einfluß dieser Komponente hin. Die in den Abschnitten "Wasserhaushalt", "Meteorologische Messungen" und "Hämatokrit" beschriebenen Ergebnisse, die letztlich auf einen Körperwasserverlust hinauslaufen, sind eng korreliert mit einem entsprechenden Körpergewichtsverlust. Daher ist es möglich, durch laufende Körpergewichtsmessungen einen näherungsweisen Überblick über den Hydrationszustand des Probanden zu gewinnen. Diese Methode wurde bereits bei anderen Unternehmungen mit Erfolg angewandt (108).

4.3.9. Hämodilution

Die grundlegenden theoretischen Überlegungen zur Hämodilution wurden von Messmer (67) dargelegt.

Um eine möglichst lang anhaltende und verträgliche Hämodilution zu erreichen, wurde ein Humanserumpräparat (Biseko^R) verwendet. Durch Infusion von ca. 500 ml, das entsprach etwa einer Menge von 275 ml/m^2 Körperoberfläche, konnte der Hämatokrit um durchschnittlich 1 % gesenkt und die steigende Tendenz durchbrochen werden. Bei isovolämischen Hämodilutionsbehandlungen am Lhotse (112) ist mit einem Aderlaß von 500 ml und Infusion derselben Menge Biseko^R ein noch viel deutlicherer Abfall (von durchschnittlich 59,1 % auf 51,9 %) erreicht worden, wobei auch die Dauer des Hämodilutionseffektes gesteigert werden konnte. Bei keiner der Infusions- oder Hämodilutionsbehandlungen traten irgendwelche Beschwerden oder Erfrierungen auf und die Expeditionsziele wurden bei bester körperlicher Leistungsfähigkeit der Bergsteiger erreicht (109). Dies scheint ein Beweis dafür zu sein, daß die Erzwingung eines Hämatokritwertes unter 60 % das Auftreten der durch Akklimatisierungsvorgänge begründeten, obengenannten Veränderungen vermindert und somit ein brauchbares Mittel zur Prophylaxe und Therapie von gewissen höhenbedingten Gesundheitsschädigungen ist.

Ein weiterer Ausblick zum therapeutischen Einsatz der Hämodilution bei nicht höhenbedingten Mikrozyklationsstörungen nach erfolgreicher Erprobung an Höhenbergsteigern wurde von Buckley (15) eröffnet. Inwieweit eine forcierte orale Flüssigkeitszufuhr dieses Ziel erreicht, ist Gegenstand der aktuellen Diskussion (73).

5. Zusammenfassung

Im Rahmen der deutsch-österreichischen Himalaya-Expedition zum 8438 m hohen Kangchendzönga 1975 wurde ein medizinisch-wissenschaftliches Programm durchgeführt, bei dem

- klimatische Einflüsse auf die Höhenadaptation,
- kardiale Antworten auf die Höhenexposition,
- Änderungen im Wasser- und Elektrolythaushalt bei Höhenexposition,
- Änderungen im Säure - Basen - Haushalt bei Höhenexposition und
- die Beeinflußbarkeit rheologischer Veränderungen durch Hämodilution

untersucht wurden.

Entsprechend dieser Fragestellung über Adaptationsmechanismen bei Expeditionsbergsteigern können die Ergebnisse dieser Arbeit und ihr Vergleich mit der verfügbaren Literatur wie folgt zusammengefaßt werden:

Elektrolythaushalt:

Ebenso wie in der neueren Literatur wurden keine Änderungen in der Natrium - Homöostase gefunden. Dies schließt allerdings Verschiebungen im Membranbereich nicht aus. Eine geringe Kalium - Retention, die sich aber im physiologischen Schwankungsbereich hielt, wurde festgestellt.

Chloridschwankungen im Plasma mit steigenden Tendenzen waren teils mit Änderungen des Natriumspiegels im Plasma und teils mit vermuteten alveolären PCO_2 - Schwankungen korreliert. Die Calcium- und Magnesiumpegel im Plasma blieben unverändert. Als einziges Elektrolyt zeigte Zink einen Anstieg seines Plasmaspiegels auf mehr als das Doppelte und seiner Ausscheidung auf das Zwölffache, was möglicherweise alimentärbedingt war. Alle diese Beobachtungen stimmten mit den Angaben der vorhandenen Literatur überein.

Kreislaufregulation:

Es zeigen sich im Basislager - Ekg lediglich eine deutliche Frequenzerhöhung und eine geringe Rechtsabweichung der elektrischen Herzachse, ohne weitere Hinweise auf eine Rechtsherzbelastung oder -hypertrophie. Rhythmusstörungen traten nicht auf. Im Hochlager bestätigten Ruhefrequenzsteigerungen und nur geringe Frequenzsteigerungen bei Belastung frühere Ergebnisse aus niedrigeren Höhen.

Säure - Basen - Haushalt:

Der aus diesem Hauptgebiet betrachtete Teilaspekt eines gewissen Anstieges des Plasmaspiegels von Laktat in Ruhe führte zur Erwartung, daß sich bei Höhenexposition ein neues Fließgleichgewicht für Laktat einstellt.

Sauerstofftransport:

Es wurde ein Anstieg des 2,3 - DPG gemessen, der proportional zur steigenden Höhenexposition war. Eine entscheidende Bedeutung für den Sauerstofftransport mußte jedoch verneint werden.

Dagegen wurde die entscheidende Bedeutung des Anstieges des Hämatokrits um ca. 23 % hervorgehoben und seine Auswirkung auf die Ausprägung des Hyperviskositätssyndromes aufgezeigt. Eine Möglichkeit der Prävention wurde diskutiert.

Körpergewicht:

Eine enge Korrelation zwischen Körperflüssigkeitsverlusten und der Körpergewichtsabnahme wurde gefunden, wenn auch Fett-, Mineral- oder Proteinverluste als auslösende Faktoren für Masseverluste diskutiert werden. Wichtig scheint daher die Folgerung, daß bei Höhenexposition laufende Körpergewichtsmessungen einen näherungsweisen Überblick über den Hydrationszustand der Probanden erlauben.

Klimatische Einflüsse:

In den meteorologischen Messungen werden Umgebungsverhältnisse gefunden, die atmungsbedingte Flüssigkeitsverluste von bis zu 5 - 8 l/d als möglich erscheinen lassen. Dies wird in engen Zusammenhang mit den Körperflüssigkeitsänderungen gebracht.

Wasserhaushalt:

Wie erwartet, nahm das Plasmavolumen unserer Probanden bis zu 25 % und das Gesamtkörperwasservolumen um bis zu 17 % ab. Dies wurde hauptsächlich auf die Umgebungsbedingungen zurückgeführt. Die tägliche Urinausscheidung als weiterer Indikator für den Hydrationszustand wurde während körperlicher Anstrengung geringer und stieg während der Rasten an. Auf eine mögliche Bedeutung des Anstieges des kolloid-osmotischen Druckes auf die Flüssigkeitsverteilung im Körper wurde hingewiesen. Die Urinosmolalität zeigte keine deutlichen Schwankungen.

Hämodilution:

Die Hämodilution in Form der Infusion von Humanalbuminpräparaten führte zu einer Unterbrechung des Hämatokritanstieges bzw. einem geringen Rückgang einzelner HK-Werte. Als Folge davon wird das Fehlen eines Hyperviskositätssyndromes erachtet, worauf wir den Expeditionserfolg mit zurückführten. Eine entscheidende Beeinflussung anderer gemessener Parameter durch die Dilution konnte nicht festgestellt werden.

6. Literaturverzeichnis

1. Alpert, N.R., Relationship between excess respiratory
Root, W.S. metabolism and utilisation of intrave-
 nously infused sodium racemic lactate
 and sodium L(-) lactate.

Am. J. Physiol. 177: 455-462. 1954
2. Asmussen, E., Circulation in rest and work on Mt. Evans.
Consolazio, C.F., Am. J. Physiol. 132: 555, 1941
3. Asmussen, E., Initial Increase in O_2 - capacity of
Nielsen, M. the Blood.

Acta Chysiol. Scand. 9: p.75, 1945
4. Aste - Salazar, H. The affinity of hemoglobin for oxygen at
Hurtado, A. sea level and at high altitudes.

Am. J. Physiol. 143: 733-743, 1944
5. Ayers, P.J. Aldosteron excretion and potassium
 retention in subjects at high altitude.

Nature 191: 78-80, 1961
6. Bauer P. "Im Kampf um den Himalaja"

Knorr & Hirth, München, 1931

7. Bauer P. "Um den Kantsch".
Knorr & Hirth, München, 1933
8. Bauskirk, E.R., Nutrition, environment and work perfor-
Mendez, J. mance with special reference to altitude.
Federation Proc. Vol 26 (6): 1760, 1967
9. Brendel W., Ist Seilbahnfahren gefährlich?
G. Neureuther, Münchner Med. Wschr. 47, 2340 (1963)
K. Nordmann
10. Brendel W. Höhenakklimatisation und Höhenkrankheit.
Jahrbuch ÖAV. 90, 187 (1965)
11. Brendel W., Elektrolytveränderungen in tiefer
Müller Ch., Hypothermie.
Reulen H.J., Pflügers Archiv 288, 220-239, 1966
Messmer, K.
12. Brendel W. Hämatokritanstieg als Lungenödemursache,
bei der Höhenkrankheit auch durch
Dehydration.
Med. Tribune 413, 4 (1971)

13. Brendel W. Höhenakklimatisation und Erschöpfung.
- Ärztl. Praxis 26, 2837 (1974)
14. Böning, B., Carbon dioxide and oxygen dissociation
Braumann, K.M., curves during and after a sojourn at
Trost, F. moderate altitude.
Proceedings of the international Symposium
on High Altitude Physiology and Medicine,
Murnau 1979.
In: Topics in Environmental Physiology and
Medicine Springer Verlag New York, Heidel-
berg, Berlin; (in Press)
15. Buckley P.B. Intentional hemodilution.
Pharmacia AB., Uppsala, Schweden 1978
16. Bulstrode C.J.K. A preliminary study into the factors
predisposing mountaineers to high altitude
pulmonary edema.
J. Royal Med. Service 61, 101 (1975)

17. Cerretelly, P., Aerobic metabolism at high altitude:
Veicsteinas, A., The Lactacid metabolism.
Marconi C. Proceedings of the International Symposium
on High Altitude Physiology and Medicine,
Murnau 1979.

In: Topics in Environmental Physiology
and Medicine, Springer Verlag Nex York,
Heidelberg, Berlin; (in press)
18. Claybaugh, J.R., Effects of 48 hours of mild hypoxia on the
Cucinell, S.A., endocrine regulation of urinary excretion
Wade, C.E., of water and electrolytes in man.
Lane, J., In: Hypoxia Symposium, Banff, 1979
Sato, A.E.
19. Consolazio C.F., Protein and water balances of young adults
Matoush, L.O., during prolonged exposure to high altitude
Johnson, H.L., (4300 m).
Daws, T.A. J. Clin. Nutr. 21: 154-161, 1968
20. Dallwig, H.C., The mechanism adapting the oxygen capacity
Kolls, A.C., of the blood to the requirements of the
Loevenhart, A.S. tissue.

Am. J. Physiol. 39: 77-79, 1915

21. Dill, D.B., Blood as a physicochemical system XII.
Talbot, J.H., Man at high altitudes.
Consolazio, W.V. J. Biol. Chem. 118: 649-666, 1937
22. Downing, S.E. Autonomic influences on cardiac function
in systemic hypoxia.

In: Proceedings of the International
Symposium on the Cardiovascular and
Respiratory Effects of Hypoxia.
Edited by J.D. Hatcher and D.B. Jennings
Basel & New York; Karger 1966 p.208-231.
23. Duhr J. 2,3 - Diphosphoglycerate Metabolism of
Erythrocytes and Oxygen Transport Function
of Blood.

In: Erythrocytes, Thrombocytes, Leucocytes
(eds.: E. Gerlach, K. Moser, E. Deutsch,
W. Wilmanns) G. Thieme, Stuttgart 1973
24. Duhr J. Effects of high altitude and of displace-
ments of the oxygen dissociation curve of
blood on peripheral O_2 extraction and P_{O_2}
Proceedings of the international Symposium
on High Altitude Physiology and Medicine,
Murnau 1979.

In: Topics in Environmental Physiology and
Medicine Springer Verlag New York, Heidel-
berg, Berlin; (in press)

25. Dyhrenfurth G.O. "Himalaya - Unsere Expedition 1930"
und Gefährten Scherl, Berlin, 1931
26. Dyhrenfurth G.O. "Himalaya - Fahrt"
Orell Füssli, Zürich, 1942
27. Dyhrenfurth G.O. "Das Buch vom Kantsch"
Nymphenburger Verl., München 1955
28. Epstein, M., Effects of simulated high altitude on
Saruta, T. renin-aldosterone and Na-homeostasis in
normal man.
J. Appl. Physiol. 33: 204-210
29. Epstein, M., Effects of an hypoxic hypobaric environment
Saruta, T. on renin-aldosterone in normal man.
J. Appl. Physiol. 34: 49-52, 1973
30. Evans Ch. "Kangchenjunga the untrodden peak"
Hodder & Stoughton, London, 1956
31. Fishman A.P. Brain edema.
New Engl. J. Med. 293, 706 (1975)

32. Frayser, R.I., Hormonal and electrolyte response to
Rennie, D., exposure to 17500 ft.
Gray, G.W., J. Appl. Physiol. 38(4): 636-642, 1975
Houston, C.S.
33. Freshfield D.W. "Round Kangchenjunga"
London Arnold, 1903
34. Galeotti, G., Über die Wasserbilanz während der Ruhe
Signorelli, E. und bei der Anstrengung im Hochgebirge.
Biochem.Z. 41: 268, 1912
35. Gowdey, C.W. The autonomic nervous system in hypoxia.
In: Proceedings of the International
Symposium on the Cardiovascular and
Respirator-Effects of Hypoxia.
Edited by J.D. Hatcher and D.B. Jennings.
Basel & New York: Karger 1966 p.232-247
36. Grawitz, E. Über die Einwirkung des Höhenklimas
auf die Zusammensetzung des Blutes.
Klin. Wochenschrift 34: 740, 1895

37. Green, C.W. Studies on the responses of the circulation
Gilbert, N.C. to low oxygen tension.VI. The cause of the
 changes observed in the heart during
 extreme anoxemia.

Am. J. Physiol. 60: 155-192, 1922
38. Gregg, H.W., The changes in the content of hemoglobin
Lutz, B.R., and erythrocytes of the blood in man
Schneider, E.C. during short exposures to low oxygen.

Am. J. Physiol. 50: 216-227, 1919
39. Hackett P.H. Mountain sickness. Prevention, Recognition
 and Treatment.

Mountain Travel Inc., Albany USA, 1978
40. Hale, H.B. Aldosteron excretion at high altitude.

Fed. Proc., 11, 63, 1952
41. Hannon, J.P., Effects of acute high altitude exposure
Chinn, K.S.K., on body fluids.
Shields, J.L. Federation Proc. 28: 1178-1184, 1969
42. Hannon, J.P., Alterations in the serum electrolyte levels
Harris, C.W., of women during high altitude acclimati-
Shields, J.L. sation.

Intern. J. Biometeorol. 14: 201-209, 1970

43. Hannon, J.P., Alterations in serum and extracellular
Chinn, K.S.K., electrolytes during high altitude exposure.
Shields, J.L. J. Appl. Physiol. 31(2): 266-273, 1971
44. Hogan, R.P. III, Effect of altitude on renin - aldosterone
Kotchen, T.A., system and metabolism of water and elec-
Boyd, A.F. III, trolytes.
Hartley L.H. J. Appl. Physiol. 35(3): 385-390, 1973
45. Houston, C.S., Respiratory and circulatory changes during
Riley, R.L. acclimatisation to high altitude.
Am. J. Physiol. 149: 565-588, 1947
46. Houston C.S., Cerebral form of high-altitude illness.
J. Dickinson Lancet 2, 758 (1975)
47. Houston C.S. High altitude illness. Disease with
protean manifestations.
JAMA 236, 2193 (1976)
48. Hultgren, H.N., Plasma volume changes during acute
Bolisoly, J., exposure to high altitude.
Fails, H., Clin. Res. 21, 224 (1973)
Stone, M.E.,
Pfeifer, J.,
Marticorina, E.

49. Jacot - Guillarmod J. "Vers le Kangchinjunga".
Jahrb. SAC 41, S. 190 - 205, 1906
50. Janoski, A.H., Electrolyte patterns and regulation in
Whitten, B.K., man during acute exposure to high altitude.
Shields, J.L., Federation Proc. 28: 1183-1189, 1969
Hannon J.P.
51. Johnson, H.L., Nitrogen and mineral metabolism at
Consolazio, C.F., altitude.
Matoush L.O., Federation Proc. 28 1195-1198, 1969
Krzywicki, H.J.
52. Jones N.L., Effect of hypoxia on free fatty acid
Robertson D.G., metabolism during exercise.
Kane, J.W., J. Appl. Physiol. 33: 733-738, 1972
Hart, R.A.
53. Jung, R.C., Effects of age on plasma aldosterone
Dill, D.B., levels and hemoconcentration at altitude.
Horton, R., J. Appl. Physiol. 31: 593-597, 1971
Horvath, S.M.
54. Kent, K.M., Potentiation of the contractile effects
Epstein, S.E., of norepinephrine by hypoxia.
Cooper, T. J. Clin. Invest. 51: 2459-2464, 1972

55. Kjeldsen, K., Influence of prolonged carbon monoxid
 Damgaard, F. exposure and high altitude on the compo-
 sition of the blood and urine.

 Scand. J. Clin. Lab. Invest.
 Suppl. 103: 20-25, 1968
56. Krzywicki, H.J., Body composition changes during exposure
 Consolazio, C.F., to high altitude.

 Matoush, L.O., Federation Proc. 28: 1190-1194, 1969
 Johnson, H.L.,
 Barnhart, R.A.
57. Krzywicki, H.J., Water metabolism in humans during acute
 Consolazio, C.F., high - altitude exposure (4300 m);
 Johnson, H.L., J. Appl. Physiol. 30: 806-809, 1971
 Nielsen, W.C.,
 Barnhart, R.A.,
58. Küffner, H., SPSS 7, Statistikprogramm für die Sozial-
 Röck, E., wissenschaften.

 Schubö, W. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart,
 New York 1978
59. Kurz M. "Chronique Himalayenne".

 Schweiz. Stiftg. f. Alp. Forschungen,
 Zürich 1959

60. Laciga, Respiratory, circulatory and ECG changes
Pavla, during acute exposure to high altitude.
Koller, Erwin A. J. Appl. Physiol. 41(2) 159-167, 1976
61. Lawrence, J.H., Physiological study in Peruvian Andes.
Huff, R.L., Acta Med. Scand. 142: 117-131, 1952
Siri, W.,
Wasserman, R.L.,
Hennessey, T.
62. Lenquist, S. Cold - induced diuresis.

Scandinavian Journal of Urology and
Nephrology 9, Stockholm 1972
63. Lenfant C., Effect of altitude on oxygen binding by
J. Torrance, hemoglobin and on organic phosphate levels.
E. English, J. Clin. Invest. 47: 2652-2656, 1968
C.A. Finch,
C. Reynafarje,
J. Ramos,
J. Faura
64. Lenfant C., Shift of the O_2 - Hb dissociation curve
J.D. Torrance, at altitude: mechanism and effect.
C. Reynafarje J. Appl. Physiol. 30(5): 625-631, 1971

65. Mc Manus, B.M., Metabolic and cardiorespiratory responses
Horvath, S.M., to long - term work under hypoxic
Bolduan, N., conditions.
Miller J.C. J. Appl. Physiol. 36(2): 177-182, 1974
66. Merino, C.F. Studies on blood formation and destruction
in polycythemia of high altitude.
Blood 5: 1, 1950
67. Messmer K. Theoretical basis for normovolaemic
haemodilution.
Proceedings of the International Symposium
on High Altitude Medicine and Physiology,
Murnau 1979.
In: Topics in Environmental Physiology and
Medicine. Springer Verlag New York, Heidel-
berg, Berlin (in press)
68. Moncloa, F., Endocrine studies at high altitude II.
Donayre, J., Adrenal cortical function in sea level
Sobrevilla, L.A., natives exposed to high altitudes (4300 m)
Guerra-Garcia, R. for two weeks.
J. Clin. Endocrinol. Metab. 25:
1640-1642, 1965

69. Moncloa, F.,
Carcelen, A.,
Beteta, L. Physical exercise, acid base balance,
and adrenal function in newcomers to
high altitude.
J. Appl. Physiol. 28: 151-155, 1970
70. Mosso A. Der Mensch auf den Hochalpen.
Verlag von Veit und Comp. Leipzig 1899 p.249
71. Mulhausen R.O.,
P.A. Astrup,
K. Mellempgaard Oxygen affinity and acid base status of
human blood during exposure to hypoxia
and carbon monoxide.
Scand. J. Clin. Lab. Invest. Suppl. 103:
9 - 15, 1968
72. Nevison, T.O.,
Roberts, J.E.,
Lackey, W.W. Nutritional Requirements for Survival in
the Cold and Altitude.
In: Proc. Symp. Arctic Biol. Med. V.
Edited by L. Vaughan. Arctic Acromed.Lab.,
Ft. Wainwright, Alaska, 1965
73. Ölz O. Diskussionsbeitrag
Proceedings of the International Symposium
on High Altitude Physiology and Medicine,
Murnau 1979

In: Topics in Environmental Physiology and
Medicine. Springer Verlag New York, Heidel-
berg, Berlin (in press)

74. O'Hara, W.J., Fat loss in the cold - a controlled study
Allen, C., J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ.
Shephard, R.J., Exercise Physiol. 46(5): 872-877, 1979
Allen, G.
75. Opitz, E., Experimentelle Untersuchungen über das
Tilman O. Verhalten des Blutkreislaufes und der
Atmung im Unterdruck.
Luftfahrtmedizin 1: 153-178, 1937
76. Penaloza, D., Electrocardiographic observations on ten
Echevarria, M. subjects at sea level and during one year
of residence at high altitude.
Amer. Heart J. 54. 811. 1957
77. Picon-Reategui, E., Effect of reducing atmospheric pressure
Fryers, G.R., on body water content of rats.
Berlin, N.I., Am. J. Physiol. 1972, 33. 1953
Lawrence, J.H.
78. Picon-Reategui, E. Basal metabolic rate and body composition
at high altitudes.
J. Appl. Physiol. 16: 431, 1961

79. Picon-Reategui, E., Body composition at sea level and high altitudes.
Lozano, R.,
Valdivies, J.
J. Appl. Physiol. 16: 589, 1961
80. Pines A. Pulmonary edema of mountains (letter).
Br. Med. J. 3, 642, 1972
81. Pugh, L.G.C.E. Physiological and medical aspects of the Himalayan scientific and mountaineering expedition, 1960 - 61.
Brit. Med. J., Vol II, 621, 1962
82. Pugh, L.G.C.E. Blood volume and hemoglobin concentration at altitudes above 18000 ft. (5500 m).
J. Physiol., London 170: 344, 1964
83. Pugh, L.G.C.E. Handbook of Physiology. Adaptation to the Enviroment.
Washington, D.C.: Am. Physiol. Soc., 1964,
sect.4, chapt. 55, p.861-868
84. Reynafarje, C. The Physiological Effects of High Altitude.
edited by W.H. Weihe. New York: Macmillan
1964, p73.

85. Robinson, S. Cardiovascular and respiratory reactions
to heat.

In: Physiological Adaptations, eds.
Yousef M.K., Horvath S.M., and Bullard
R.W., New York: Academic, 1972, p. 77-97
86. Rotta, A. Physiologic condition of heart in natives
of high altitude.

Amer. Heart J. 33, 669-676, 1947
87. Schmid - Schön- Blood rheology in hemoconcentration.
bein H., Proceedings of the international Symposium
Schneider R. on High Altitude Physiology and Medicine,
Murnau 1979.

In: Topics in Environmental Physiology and
Medicine, Springer Verlag New York, Heide-
berg, Berlin (in press)
88. Siri, W.E., BODY WATER AT SEA LEVEL AND AT ALTITUDE.
Reynafarje, C., J. Appl. Physiol. 7: 333, 1954
Berlin, N.I.,
Lawrence, J.H.

89. Slater, J.D.H., Control of Aldosterone secretion during
Tuffley, R.E., acclimatisation to hypoxia in man.
Williams, E.S., Clin. Sci. 37, 327-341, 1969 a
Beresford, C.H.,
Sönksen, P.H.,
Edwards, R.H.T.,
Ekins, R.P.,
Mc Laughlin, M.
90. Slater, J.H.D., Potassium retention during the respiratory
Williams, E.S., alkalosis of mild hypoxia in man: Its
Edwards, R.H.T., relationship to aldosterone secretion and
Ekins, R.P., other metabolic changes.
Sönksen, P.H., Clin. Sci 37: 311-326, 1969 b
Beresford, C.H.,
Mc Laughlin, M.
91. Staub, N.C. Mechanism of Pulmonary Edema following
uneven Pulmonary Artery Obstruction.
Proceedings of the international Symposium
on High Altitude Physiology and Medicine,
Murnau 1979.

In: Topics in Environmental Physiology and
Medicine, Springer Verlag New York, Heidel-
berg, Berlin (in press)

92. Sturm G. "Erfolg am Kantsch"
BLV Verl. München, 1975
93. Surks, M.I., Alterations in body compositions in man
Matoush, L.O., after acute exposure to high altitude.
Chinn, K.S.K. J. Appl. Physiol. 21(6): 1741-1746, 1966
94. Sutton, J.R. Effect of acute hypoxia on the hormonal
response to exercise.
J. Appl. Physiol. 42: 587-592, 1977
95. Sutton, J.R., Renin, aldosterone, electrolyte and
Viol, G.W., cortisol responses to hypoxic decompression.
Gray, G.W., J. Appl. Physiol. 43: 421, 1977
Mc Fadden, J.,
Keane, P.M.
96. Swann, H.G., Extent of water loss by rats at lowered
Collings, W.D. barometric pressures.
J. Aviation Med. 14: 114-118, 1943
97. Torrance J.D., Intraerythrocytic adaptation to anemia.
P. Jacobs, N. Engl. J. Med. 283: 165-169, 1970
A. Restrepo,
J. Eschbach,
C. Lenfant,
C.A. Finch

103. Williams, E.S. Hormone responses to hypoxia in humans.

In: Hypoxia Symposium, Banff, 1979
104. Williams, E.S. Proc. Roy. Soc. B., 165, 266, 1966
105. Woodson R., The affect of cardiac disease on hemo-
J.D. Torrance, globin - oxygen binding.
S.D. Shappell, J. Clin. Invest. 49: 1349 - 1356, 1970
C. Lenfant
106. Zink R.A., Haemodilution in high altitude mountain
W. Schaffert, climbing: a method to prevent or treat
W. Brendel, frostbite, high altitude pulmonary edema
K. Messmer, and retinal haemorrhages.
F. Schmiedt, In: Abstracts of Scientific Papers of
P. Burnett the 1978 Ann.Meeting Am. Soc. Anaesthesiol
107. Zink R.A. Ärztlicher Rat für Bergsteiger.

Thieme Verlag Stuttgart 1978
108. Zink, R.A., Follow up of some hematological Parameters
Lobenhoffer, H.P., and the body hydration of trekking tourists
Heimhuber, B., in Nepal.
Hoschka, W., Proceedings of the International Symposium
Gutschera, L., on High Altitude Physiology and Medicine,
Rupp, C., Murnau 1979.
Schneider, R. In: Topics in Environmental Physiology and
Medicine, Springer Verlag New York, Heidel-
berg, Berlin (in press)

109. Zink R.A., Haemodilution: practical experience in
 W. Schaffert, high altitude expeditions.
 K. Messmer ibid.
 W. Brendel
 P. Hackett
110. Zink R.A. Proposals for international standardi-
 sation in the research and documentation
 of high altitude medicine.

 ibid.
111. Zink, R.A. Gefährdung durch "Platzhirschverhalten".

 Euromed.5, 1979
112. Zink, R.A., Adaptability of Man to High Altitude and
 Schaffert W. Microcirculation.

 In: Symposium Quinghai - Xiziang,
 Peking 1980

Danksagung

Herrn Professor Dr.Dr.hc. W. Brendel danke ich für die Überlassung des Themas sowie für seine Ratschläge im Verlaufe der Arbeit.

Für die sehr zahlreichen Anregungen und die stetige Bereitschaft zur kritischen Zusammenarbeit danke ich Herrn Dr. R.A. Zink. Seine Vorarbeiten machten diese Arbeit erst möglich.

Für weitere wertvolle Ratschläge danke ich Herrn Prof.Dr. J. Duhm.

An der Datenauswertung und der graphischen Gestaltung waren beteiligt: Dr. H. Lobenhoffer, P. Neumann, H. Kaufmann und G. Riedelsheimer.
Bei ihnen bedanke ich mich für ihre Mithilfe.

Lebenslauf

22.07.1951 Geboren in Schrobenhausen, Sohn des Ober-
verwaltungsrates Georg Rupp und seiner Ehe-
frau Elisabeth Charlotte, geb. Bauer,
Dipl.Kaufmann

1957 - 1961 Volksschule Schrobenhausen

1961 - 1964 Oberrealschule Schrobenhausen

1964 - 1966 Ludwigs-Oberrealschule München

1966 - 1971 Math.-naturwiss. Gymnasium Schrobenhausen

Juni 1971 Abitur

1971 - 1973 Wehrdienst

1973 - 1974 Studium Physik/Chemie an der Ludwig-
Maximilians-Universität in München

1974 - 1980 Studium Medizin an der Ludwig-Maximilians-
Universität in München;
"Ärztliche Vorprüfung": WS 1975/76
1. Abschnitt der "Ärztlichen Prüfung": WS 1976/77
2. Abschnitt der "Ärztlichen Prüfung": WS 1978/79
"Praktisches Jahr" (1979/80): Klinikum Großhadern:
Urologie; Städt. Krankenhaus Ingolstadt: Innere
Medizin; Klinikum Großhadern: Chirurgie;
3. Abschnitt der "Ärztlichen Prüfung": WS 1979/80

Mai 1980 Approbation

Seit Oktober 1980 Assistenzarzt an der I. Chirurgischen Abteilung
des Krankenhauses München-Schwabing der Stadt
München

